

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ESCUELA DE POS GRADO

**Modelo de identificación de factores contaminantes
atmosféricos críticos en Lima – Callao**

TESIS

para optar el grado académico de magíster en Ingeniería Industrial

AUTOR:

Juan Manuel Rivera Poma

ASESOR

Jorge Luis Inche Mitma

Lima – Perú

2012

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1. Situación del Problema.....	5
1.2. Formulación del Problema.....	10
1.2.1 Problema General.....	10
1.2.2. Problema Específico.....	10
1.3. Justificación.....	11
1.4. Objetivo de la Investigación.....	12
1.4.1. Objetivo general.....	12
1.4.2. Objetivo específicos.....	12
1.5. Formulación de la hipótesis	13
1.5.1. Hipótesis general.....	13
1.5.2. Hipótesis específicas.....	13
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes del estudio.....	17
2.1.1. La atmosfera.....	20
2.1.2. El aire.....	22
2.1.3. Antecedentes históricos de la contaminación del aire.....	23
2.1.4. Clasificación de la contaminación atmosférica.....	26
2.1.5. Material Particulado - PM 10.....	35
2.1.6. Material Particulado - PM 2.5.....	36
2.1.7. Partículas totales en suspensión PTS.....	38

2.1.8. Dióxido de azufre.....	38
2.1.9 Dióxido de nitrógeno.....	41
2.1.10.Efectos de la contaminación atmosférica.....	43
2.1.11.Instituciones involucradas en la gestión de la calidad del aire....	49
2.1.12 Estándar de calidad ambiental – ECA.....	51
2.1.13.Índice de calidad del aire.....	53
2.1.14.Prevenición y control de la contaminación atmosférica	56
2.2. Definición de términos.....	57
2.3. Marco normativo.....	62
 CAPITULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	 68
3.1. Diseño de la investigación	68
3.1.1. Tipo de investigación.....	68
3.1.2. Diseño de investigación.....	68
3.2. Contaminantes del Aire.....	68
3.3. Contaminantes Criterio.....	69
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos de campo.....	70
3.4.1. Instrumentos	70
3.4.2. Equipos de monitoreo.....	71
3.4.3. Calibración de equipos.....	72
3.4.4. Técnica de recolección de datos.....	74

CAPITULO IV PROCESO DE CONTRASTE.....	75
4.1. Presentación, análisis e interpretación de los resultados.....	75
4.1.1. Métodos de análisis.....	75
4.1.2. Verificación de indicadores técnicos para la medición de las variables.....	76
4.1.3. Análisis descriptivo de los resultados.....	78
4.2. Procesos de Prueba de hipótesis.....	91
4.3. Discusión de resultados.....	101
4.3.1. Análisis de Resultado – Material Particulado PM10.....	101
4.3.2. Análisis de Resultado – Material Particulado PM2.5.....	103
4.3.3. Análisis de Resultado – Partículas Totales en Suspensión PTS..	106
4.3.4. Análisis de Resultado – Efectos de Salud.....	107
4.3.5. Análisis de Resultado – Dióxido de Azufre.....	108
4.3.6. Análisis de Resultado – Dióxido de Nitrógeno.....	110
4.4. Modelo de identificación de factores contaminantes atmosféricos en las zona urbana de Lima y Callao.....	111
4.5. Diagrama causal.....	115
4.6. Desarrollo del Modelo Dinámico de contaminación atmosférica.....	117
4.7. Diagrama de flujo de modelo dinámico.....	118

CONCLUSIONES.....	132
RECOMENDACIONES.....	134
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
ANEXOS.....	140
1. Población Total, Crecimiento Intercensal, Anual y Tasa de crecimiento Promedio anual, 1940,1961, 1972, 1981,1993, 2005 y 2007.	141
2. Población Censada, según departamento, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 y 2007.	142
3. Población Censada, según departamento, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 y 2007.	143
4. Densidad de la población – Lima y Callao, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 y 2007.	144
5. Población estimada y proyectada por sexo y tasa de crecimiento, según años calendarios, 1990 – 2021	145
6. Población migrante en los cinco años anteriores al censo de 2007, según departamento, 2002-2007.	147
7. Población inmigrante y emigrante, Lima y Callao, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 y 2007.	148
8. Plano de Lima Metropolitana y Callao.	149
9. Plano geográfico de Lima y Callao.	150

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial, está presente en todas las sociedades, independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico, y constituye un fenómeno que tiene particular incidencia sobre la salud del hombre.

En el Perú, la contaminación del aire afecta mayormente a las zonas urbanas, originada principalmente por factores de contaminación industrial, domestica y vehicular. El mayor contribuyente de la contaminación es el parque automotor; La que está conformado por más de 1.5 millones de vehículos, de los cuales, el 65% circulan en la ciudad de Lima. Este parque automotor es uno de los más obsoletos, con un promedio aproximado de 17 años de antigüedad, debido principalmente a la masiva importación de unidades usadas en años previos sin una regulación adecuada.

En la zona Metropolitana de Lima y Callao, las actividades industriales, el crecimiento urbano acelerado de la ciudad que se desarrolla sin ninguna planificación, el desconocimiento y falta de práctica de principios básicos de sanidad en el entorno social, afecta seriamente la calidad de vida y salud de la población.

La ciudad de Lima es considerada como una de las más contaminadas en América Latina, conjuntamente con las ciudades de Sao Pablo, México y Santiago de Chile.

Los principales contaminantes atmosféricos en la ciudad de Lima son:

- Las partículas en suspensión o material particulado que consisten en una compleja mezcla de partículas liquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, suspendidas en el aire. Se clasifican en PM 10 y PM 2.5 en función de su diámetro aerodinámico.

- El dióxido de azufre (SO_2), es un gas incoloro, no inflamable y de olor sofocante resultado de la combustión del azufre contenido en los combustibles fósiles (petróleos combustibles, gasolina, petróleo diesel, carbón, etc.).
- El dióxido de nitrógeno (NO_2), es un gas sin olor, color ni sabor, que constituye el 78% del aire. Aunque en condiciones normales no es perjudicial para la salud, se puede combinar con oxígeno para formar diversos óxidos de nitrógeno. Tanto el NO como el NO_2 se producen de forma natural en cantidades muy superiores a las generadas por la actividad humana, pero al estar distribuidos sobre toda la superficie terrestre, las concentraciones atmosféricas resultantes son muy pequeñas.

Lima y Callao, ciudades de progreso y desarrollo de un país emergente que presentan problemas sociales y de contaminación, entre los que destacan la pobreza, la sobrepoblación, la escasez de servicios básicos, el transporte, la tugurización, la contaminación ambiental, y las condiciones de higiene y salubridad, etc.

Estos problemas se encuentran ligados unos de otros y deben ser analizados desde una perspectiva integral, obteniéndose recomendaciones complementarias, especialmente en educación y respecto a disposiciones de las entidades de control, con el propósito de elevar la calidad de vida de la población

Las relaciones entre calidad de vida y calidad ambiental en la zona metropolitana de Lima y Callao son analizados mediante la evaluación de variables sociales, ambientales y mediante el empleo de Sistemas Dinámicos.

En Lima Metropolitana (2008), el 28.2% de la morbilidad correspondió a enfermedades respiratorias, la principal causa fue las infecciones

agudas de las vías respiratorias superiores que constituyó más de 1 millón de episodios, representando el 69.3% del total de enfermedades respiratorias y el 19.6% del total de la morbilidad registrada.

Según el Banco Mundial (2006), por la sola exposición al material particulado, en Lima mueren más de 6 000 personas/año y los gastos de salud por dicha exposición, representan un aproximado de US\$ 300 millones de dólares. Se estima que la contaminación urbana del aire acarrea costos de 0,9 % del PBI, los cuales inciden en mayor medida en las zonas de mayor pobreza (entre 75-300% adicionales).

La contaminación tiene una relación estrecha con la calidad de vida de la población por lo que se considera necesario el estudio de los principales factores de contaminación.

En el presente estudio se determinan los diferentes factores de contaminación que influyen en la calidad de aire en la zona Metropolitana de Lima y Callao, mediante el análisis estadístico de los principales contaminantes para un periodo de 10 años. Luego se establece los criterios de medición de la calidad del aire y las relaciona con los diferentes factores de la población y termina con una proyección del 2011 al 2021 en condiciones reales, mediante un modelo dinámico, teniendo en cuenta las condiciones de crecimiento de la población, contaminantes, crecimiento, muertes, nacimientos, etc. Este modelo dinámico permite simular situaciones futuras mediante cambios en sus condiciones.

CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Organización Mundial de la Salud (OMS), indica que más de 100 millones de personas en América Latina y el Caribe están expuestas a niveles de contaminantes del aire que exceden los límites permisibles establecidos.

El 80% de la población del planeta vive en ciudades que destruyen el ambiente natural; de los elementos como el aire, el agua y la temperatura, que cambian drásticamente por las acciones de la contaminación, que se incrementa severamente.

El Banco Mundial comunica que las ciudades de México, Santiago de Chile, Sao Paulo, Río de Janeiro y Lima, tienen el aire más contaminado de América Latina, siendo las principales causantes los humos asfixiantes que arrojan los vehículos viejos importados sin restricción.

La principal fuente de contaminación del aire en la ciudad de Lima está constituida por la gran cantidad de unidades de transporte público que circulan sin ningún control serio, por los camiones y por las unidades a motor Diesel los mismos que emiten gran cantidad de oxido de nitrógeno y material particulado.

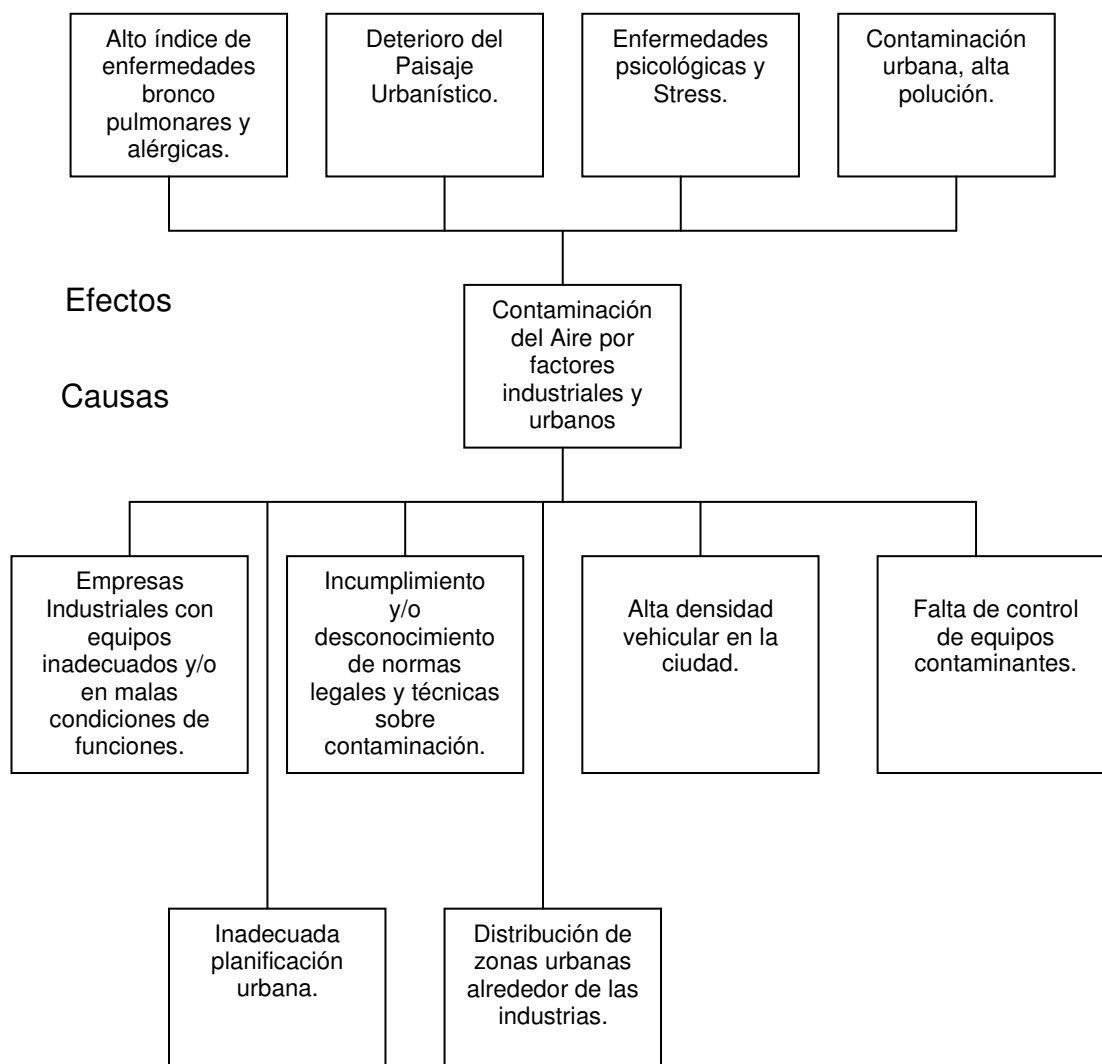
1.1. Situación del problema

La población de Lima y Callao ha crecido desde 0.91 millones en 1940 a 9.3 millones al 2010, constituyendo el 33 % de la población nacional, según cifras de INEI.

Su crecimiento ha sido en forma desordenada, con aspectos urbanos e industriales sin planificación establecida; Las urbanizaciones crecen en forma desproporcionada a los servicios básicos de saneamiento en el tratamiento de aguas servidas y de transporte. Los asentamientos humanos se establecen en forma desordenada, careciendo de instalaciones de agua y desagüe; Sus habitantes, en su mayoría, son inmigrantes de provincias, con baja cultura de saneamiento y limpieza.

Estas ciudades, con estas condiciones de vida, presentan problemas socio - ambientales severos, como la pobreza, la sobrepoblación, desorden vehicular, falta de planificación urbana, escasa cobertura de servicios básicos y la tugurización, entre otros, haciendo que la contaminación del aire se incremente e influya negativamente en las condiciones de vida de la población elevando el alto índice de enfermedades bronco pulmonares, psicológicas y cancerígenas. (Ver cuadro 1).

Cuadro 1. Árbol de problemas de la contaminación del aire de Lima y Callao.



Fuente: Elaborado por el propio investigador

Una de las principales causas de la contaminación atmosférica de la zona urbana de Lima y Callao es el crecimiento y la obsolescencia del parque automotor, a la que ha contribuido la importación de vehículos de segundo uso utilizados como taxi, los buses y microbuses de servicios públicos obsoletos, las que causan las mayores emisiones de hidrocarburos a la atmosfera. (Ver cuadro 2).

Cuadro 2. Proyecciones del Parque Automotor, Perú 2009 – 2010

CLASE DE VEHÍCULO	2009	2010 *	TASA PROMEDIO ANUAL
	1,732,83	1,798,86	
TOTAL	4	9	3.81
AUTOMÓVIL	766,742	794,950	3.68
STATION WAGON	274,566	286,030	4.18
CMTA. PICK UP	196,833	202,336	2.80
CMTA. RURAL	207,067	216,958	4.78
CMTA. PANEL	34,172	34,477	0.89
OMNIBUS	51,563	53,130	3.04
CAMIÓN	137,407	143,642	4.54
REMOLCADOR	26,457	27,869	5.34
REM.Y SEMI- REMOLQUE	38,027	39,477	3.81

Fuente: OGPP - DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICA

Elaboración: OGPP - OFICINA DE ESTADÍSTICA

* Proyección

Las estimaciones de las emisiones de PTS, SO₂, NO₂, CO y plomo del parque automotor de Lima y Callao, en las últimas décadas se han incrementado debido al crecimiento industrial, comercial y urbano, constituyendo el parque automotriz una fuente de contaminación severa. (Ver cuadro 3).

Cuadro 3. Proyección del parque vehicular por departamentos del Perú-2010

REGIÓN O DEPARTAMENTO	2009	2010 *	TASA PROMEDIO ANUAL
TOTAL	1,732,834	1,798,869	3.8
AMAZONAS	2,292	2,375	3.6
ANCASH	21,309	22,107	3.7
APURÍMAC	3,973	4,108	3.4
AREQUIPA	98,270	102,052	3.8
AYACUCHO	5,572	5,764	3.4
CAJAMARCA	13,563	13,976	3.0
CUZCO	42,175	43,525	3.2
HUANCAVELICA	1,291	1,341	3.9
HUANUCO	11,382	11,769	3.4
ICA	25,691	26,780	4.2
JUNÍN	49,404	51,184	3.6
LA LIBERTAD	156,646	163,386	4.3
LAMBAYEQUE	43,689	45,198	3.5
LIMA	1,106,444	1,148,438	3.8
LORETO	5,089	5,271	3.6
MADRE DE DIOS	941	979	4.1
MOQUEGUA	12,692	13,203	4.0
PASCO	7,187	7,518	4.6
PIURA	34,650	36,102	4.2
PUNO	31,645	32,836	3.8
SAN MARTIN	9,977	10,353	3.8
TACNA	38,457	39,804	3.5
TUMBES	3,054	3,149	3.1
UCAYALI	7,441	7,651	2.8

* Proyección

Fuente: OGPP - DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICA

Elaboración: OGPP - OFICINA DE ESTADÍSTICA

Se observa que con el crecimiento de la población urbana, la calidad de vida del poblador ha disminuido, incrementándose los problemas de la contaminación atmosférica.

La zona urbana de Lima y Callao con alta densidad de población, mezclada con pequeñas industrias y comercio en lugares inadecuados, con la falta de organización y respeto a las disposiciones de salubridad por parte de los gobiernos locales.

**Cuadro 4. . Parque vehicular nacional, según clase de vehículo - Lima:
2000 – 2009**

CLASE DE VEHÍCULO	2000	2001	2002 R/	2003 R/	2004 R/	2005 R/	2006 R/	2007 R/	2008 R/	2009
TOTAL	1,162,859	1,209,006	1,248,512	1,342,288	1,361,403	1,440,017	1,473,530	1,534,303	1,640,970	1,732,834
Automóvil	580,710	597,306	610,270	643,848	646,497	673,647	681,538	696,897	735,314	766,742
Station wagon	136,221	153,304	173,315	197,700	209,908	227,338	237,562	250,979	261,441	274,566
Cmta. Pick up	143,871	144,353	144,454	155,251	155,951	165,875	168,756	176,111	187,940	196,833
Cmta. Rural	108,184	115,002	118,934	126,391	129,077	137,941	146,434	159,829	184,328	207,067
Cmta. Panel	19,498	20,408	21,729	23,515	24,930	26,850	28,177	29,684	32,498	34,172
Ómnibus	44,820	44,752	44,337	46,198	45,851	47,788	47,873	48,542	49,882	51,563
Camión	100,845	102,901	102,714	109,862	109,019	115,576	116,485	120,661	129,295	137,407
Remolcador	13,790	14,565	15,312	17,107	17,282	17,602	18,319	20,872	24,890	26,457
Remolque y Semi-remolque	14,920	16,415	17,447	22,416	22,888	27,400	28,386	30,728	35,382	38,027

R/: Cifras revisadas, reajustadas por haberse detectado mayor incremento de inscripciones vehiculares a partir del año 2002.

Fuente: Superintendencia Nacional de los Registros Públicos - SUNARP.

Fuente: OGPP - Oficina de Estadística

Las construcciones de nuevas zonas de vivienda, de pistas y veredas públicas; el tránsito vehicular, las fábricas, maquinarias pesadas, y otros cambios modernos. Han incrementado la cantidad de polvo y sólidos suspendidos en el aire, los que aunados a las condiciones del clima, humedad, temperatura, la escasa corriente de aire y la ausencia de lluvia, establecen condiciones muy desfavorables para las condiciones de vida de la población.

La contaminación del aire afecta la salud de la población, específicamente de las personas más vulnerables como niños, ancianos y personas enfermas, que se intensifican por las condiciones de pobreza y extrema pobreza.

En un entorno insano provoca enfermedades como la malaria, tracoma, chagas, filarías, dengue, etc.

El medio ambiente es responsable directo o indirecto del 85% de enfermedades.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la calidad del aire de la zona urbana de Lima y el Callao durante el periodo de 2001 a 2010?

1.2.2. Problema específico

1. ¿Cuál es la calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao por la contaminación de partículas menores o igual a 10 micras (PM 10).? ¿En las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte durante el periodo de 2007a 2010?

2. ¿Cuál es la calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación de partículas menores o iguales a 2.5 micras (PM 2.5), En las estaciones de monitoreo del Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur y Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2010?
3. ¿Cuál es la calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación de partículas totales en suspensión PTS, en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur y Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2007?
4. ¿Cuál es la calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación de dióxido de azufre en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur y Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2010?
5. ¿Cuál es la calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación de dióxido de nitrógeno en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2010?

1.3. Justificación

1. La determinación de la calidad del aire de Lima y Callao, constituirá una línea de base para nuevas investigaciones.
2. Proponer un Modelo de Identificación de Factores Contaminantes

Atmosféricos en Lima – Callao, durante el periodo de 2007 a 2010, constituirá una línea de base para nuevas investigaciones. Su conocimiento permitirá sentar las bases para establecer políticas de gestión de la calidad de aire limpio a través de las instituciones del gobierno central y gobiernos locales.

3. Recomendar el fortalecimiento institucional del gobierno central y gobiernos locales en la fiscalización de la calidad del aire de Lima y Callao.

1.4. Objetivos de la investigación

Proponer un Modelo de Identificación y Evaluación de la Contaminación atmosférica de la Zona Urbana de Lima y el Callao.

1.4.1. Objetivo general

Determinar la calidad del aire de la zona urbana de Lima y el Callao, durante el periodo de 2001 a 2010.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Determinar la calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación de partículas menores a 10 micras (PM 10), en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2007 a 2010.
2. Determinar la calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación con partículas menores a 2.5 micras (PM 2.5) en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el

periodo de 2001 a 2010

3. Determinar la calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación de partículas en suspensión (PTS) en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2007.
4. Determinar la calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao, por contaminación de dióxido de azufre, en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur y Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2010.
5. Determinar la calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación de dióxido de nitrógeno, en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2010.

1.5. Formulación de la hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

H1= La calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao es insalubre, durante el periodo de evaluación de 2001 a 2010.

H01= La calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao no es insalubre, durante el periodo de evaluación de 2001 a 2010.

1.5.2. Hipótesis específicas

H2= La calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao

por la contaminación de partículas PM10 es muy mala, en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2010.

H02= La calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao por la contaminación de partículas PM10 no es muy mala, en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2010.

H3= La calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación de partículas menores a 2.5 micras PM 2.5, es peligrosa, en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, y Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2010.

H03= La calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación de partículas menores a 2.5 micras PM 2.5, no es peligrosa, en las estaciones de monitoreo del Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur y Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2010.

H4= La calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación de partículas totales en suspensión PTS, es mala, en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2007.

H04= La calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación de partículas totales en suspensión PTS, no es mala, en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2007.

H5= La calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao,

por la contaminación de dióxido de azufre, es bueno, en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2007.

H05= La calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación de dióxido de azufre, no es bueno, en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2007.

H6= La calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación de dióxido de nitrógeno, es bueno, en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2007.

H06= La calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao, por la contaminación de dióxido de nitrógeno, no es bueno, en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2007.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

El aire tiene la función de transmitir el sonido, filtrar y amortiguar los rayos del Sol, dispersar la luz y mantener el equilibrio térmico. La energía solar ayuda en la purificación del aire atmosférico, las plantas a través del proceso de la fotosíntesis absorben el bióxido de carbono y desprenden el oxígeno purificando el aire.

La actividad industrial, centrales eléctricas emiten anhídrido sulfúrico, la actividad de hidrocarburos emiten compuestos de azufre, óxidos de nitrógeno, fenoles, la siderúrgica, la disposición final de residuos sólidos emiten óxidos de azufre y nitrógeno, anhídridos y ácidos orgánicos.

El parque automotor formado por vehículos obsoletos de transporte personal y público, emiten gases contaminantes que afectan la salud del poblador limeño.

Las fuentes antropogénicas incluyen la quema de combustibles sólidos como la madera y el carbón, las actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos y la industria de la construcción.

2.1. Antecedentes del estudio

En el mundo los mayores contaminantes atmosféricos, son las fuentes fijas, cuyas emisiones a través de las actividades de urbanización, la deforestación, la tala de árboles, la apertura de vías, la erosión de los cerros, escombros, disposición de desechos sólidos y las emisiones de contaminantes atmosféricos industriales.

Las partículas sólidas de polvo, hollín partículas líquidas producidas por la condensación de vapores; menores de 2,5 micrómetros de diámetro, son las más riesgosas, tienen mayor probabilidad de ingresar a los pulmones.

Las Naciones Unidas revelan que las personas más pobres, los niños y habitantes del tercer mundo tienen mayor índice de riesgo de exposición a la contaminación ambiental.

Los contaminantes del aire pueden causar resequedad de la mucosa, irritación y comezón de la piel, enfermedades respiratorias, vasculares y cardíacas, reducción de la capacidad de la sangre de transportar sustancias nutritivas y oxígeno al organismo, trastornos digestivos, problemas en huesos y dientes por fluoruros, asma, bronquitis, aumento de la frecuencia de cáncer bronquial y enfisema pulmonar, problemas cardiovasculares, como trombosis; además de irritar los ojos, debido a la presencia de ozono en el aire y partículas de polvo en suspensión.

Referentes:

ARAGÓN A. *et. al* (2006). Indica que la influencia de los vientos y el clima semidesértico de la ciudad de San Luis de Potosí- México, favorecen la suspensión de partículas en el aire en la Zona Industrial y el tránsito vehicular, se halló partículas totales en suspensión (PST) con una media aritmética anual de $483\mu\text{g}/\text{m}^3$; el límite máximo permitido es de $90\mu\text{g}/\text{m}^3$; y la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció $75\mu\text{g}/\text{m}^3$.

BONITO, L. (1992). Realizó estudios sobre los niveles de monóxido de carbono de las vías de tránsito de la Ciudad de La Habana - Cuba, y halló concentraciones de $14,6\text{ mg}/\text{m}^3$, cuando la norma estándar establecida es de $5\text{ mg}/\text{m}^3$.

CABRERA, C. *et. Al*. Relaciona la calidad del aire y calidad de vida, y determinó que el parque automotor de Lima es de 720,000 vehículos de pasajeros con 15 años de antigüedad, con capacidad menor de 15 pasajeros, que circulan por la vía pública, causando la contaminación atmosférica en partículas en suspensión, polvos, dióxido de azufre, plomo. Asimismo, indica que el índice de calidad ambiental y calidad de vida, mediante la evaluación de indicadores y matrices cuadráticas; partículas menores a 10 micras (PM-10), SO_2 , plomo en PM 10, sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

COUSILLAS, *et. al*. (1996), en México realizó un estudio sobre plomo sanguíneo, creatinina y ácido delta aminolevulínico en orina en niños, teniendo residencia a un kilómetro de la fundición en Malvín Norte. El 29% de los niños analizados tenían valores de plomo sanguíneo por encima de 15 microgramos/dl, el 30% entre 10 y 15 microgramos/dl; el 41%, menores de 10 microgramos/dl.

ROMERO Placeres, et. al (2004). Realizó estudios en la Ciudad de México, determinó contaminantes de partículas totales suspendidas, plomo, monóxido de carbono, óxido de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y ozono, que tienen efectos sobre la salud de la población urbana.

SÁNCHEZ Juana, GARCÍA Edelmira, JUÁREZ Libertad, GARCÍA Elizabeth, GÓMEZ José Luís, VALENCIA Rafael. Hallaron la contaminación por plomo en Trinidad Tenexyecac del estado de Tlaxcala México, dedicada a la alfarería; muestras de sangre de 86 individuos, el rango de edad de 3 a 82 años; y muestras de suelo localizando las áreas muestreadas con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS); analizaron por Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de grafito. Para determinar el control de calidad emplearon estándares certificados por el Centro de Control y Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos y del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología. El 85% de la población tuvo niveles arriba de 10 µg/dl valor de intervención ambiental. De la población total estudiada el 42.5% tuvo nivel de Pb en sangre mayor a 30 µg/dl.

SILVA José, MONTOYA Zarela (2004). La concentración media de polvo atmosférico para el año 2004 fue de 0,3 t/km²/mes, el 84% de las estaciones superaron el valor del límite permisible de la Organización Mundial de la Salud equivalente a 5 t/km²/mes.

La instalación de altas chimeneas industriales no reduce la cantidad de contaminantes, simplemente los emiten a mayor altura y reducen su concentración en el lugar. Los contaminantes pueden ser transportados a grandes distancias y causar efectos adversos para la salud en áreas más alejadas del lugar de la emisión.

Las emisiones de dióxido de azufre y la subsiguiente formación de ácido sulfúrico pueden ser responsables del ataque sufrido a las calizas y mármol a grandes distancias.

El efecto invernadero resultante, que permite la entrada de la energía solar pero reduce la remisión de rayos infrarrojos al espacio exterior, genera una tendencia al calentamiento global que podría llevar al deshielo de los casquetes polares.

La contaminación del aire se está reduciendo en los países industrializados, mientras que se agrava en los países en desarrollo. La contaminación del aire se relaciona con las enfermedades del pulmón, cardiopatía, cáncer del pulmón y daño neurológico en los niños. Desde finales de la década de 1940, el creciente consumo de carbón y petróleo han causado concentraciones mayores de dióxido de carbono en la atmósfera.

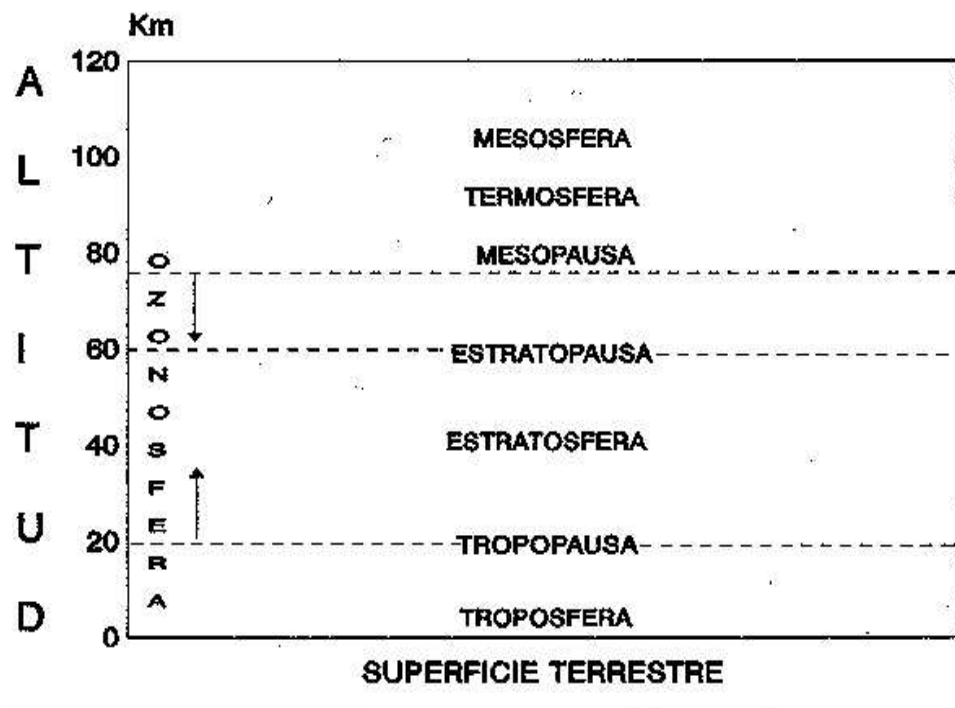
La Municipalidad del Callao a través de la Dirección General Protección Ambiental desde 1997 hasta 2001 realizó seguimiento a 236 empresas para una certificación ambiental; determinando los niveles de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos, vapores de solventes, partículas de cobre, de zinc, de plomo, hidróxido de calcio, Partículas Totales en Suspensión, partículas menores a 10 micras; y a las empresas que hacen tratamiento de las emisiones atmosféricas con vaporización, ciclones, mangas de tela, lavado, filtros para polvos y neutralización.

2.1.1. La atmósfera

El planeta Tierra, está envuelto por una atmósfera que alcanza los 700 Km de altura; la mezcla de gases y partículas suspendidas permanecen en torno a la Tierra por la atracción gravitacional del planeta. La atmósfera terrestre es extremadamente delgada en comparación a la dimensión del Planeta cuyo radio aproximado es 6400 km. Así, un poco más del 90% de la masa de la atmósfera se concentra en los primeros 20 km.

Los principales componentes de la atmósfera son el nitrógeno molecular (78% en volumen) y oxígeno molecular (21% en volumen). El vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), y otros elementos gaseosos en menor concentración ocupan el 1%; la densidad de los gases desciende con la altitud y la temperatura; ésta separada en capas, las que podemos observar en el cuadro 5:

Cuadro 5. Capas de la atmosfera



Fuente: DÍAZ R. Contaminación del aire - 2002

La troposfera es la capa del aire que respiramos; y es donde suceden fenómenos meteorológicos como la lluvia, los vientos, una masa de aire puede dar la vuelta a la Tierra en pocos días.

La estratosfera, es una de las capas más importantes de la atmosfera con poca presencia de vapor de agua, el gradiente

de la temperatura aumenta con la altura; debido a las altas concentraciones de gas ozono que absorbe luz ultravioleta procedente del sol y la corriente en calor. Impidiendo que esta llegue a la superficie de la tierra.

Mesosfera, es la capa de la atmosfera situada encima de la estratosfera; se caracteriza porque la temperatura va disminuyendo con la altura pudiendo llegar a menos de 90°C. Es importante por la ionización y las reacciones químicas que ocurren en ella.

La termósfera o ionosfera es la capa de la atmósfera más alejada. Se localiza en el rango de los 100 a 200 km a esta altura el aire es muy tenue y la temperatura cambia con la actividad solar pudiendo llegar a 1500°C a más.

La exosfera es la última capa de la atmosfera de la tierra. En esta región hay un alto contenido de polvo cósmico que cae sobre la tierra.

2.1.2. El aire

El aire es una mezcla de elementos constitutivos de nitrógeno, oxígeno, vapor de agua; el 78 % del aire es nitrógeno y 21% oxígeno; el uno por ciento restante incluye pequeñas cantidades de sustancias, como el dióxido de carbono, metano, hidrógeno, argón, helio, y gases inertes; existen cientos de contaminantes en el aire que se presentan en forma de partículas, gases y vapores; el aire es indispensable para la vida de los seres vivos, el hombre inhala 14.000 litros de aire por día.

El aire es un recurso natural renovable que se regeneran continuamente ya sea por la fotosíntesis de las plantas que absorben el dióxido de carbono y eliminan el O_2 y por el ciclo del agua que aporta vapor de agua y lo desprende por efectos de las lluvias.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define al aire puro como la mezcla de gases, vapor de agua y partículas sólidas y líquidas cuyo tamaño varía desde 14 nanómetros hasta 0,5 milímetros, los cuales en su conjunto envuelven el globo terrestre.

2.1.3. Antecedentes históricos de la contaminación del aire.

La contaminación del aire se inició con el descubrimiento del fuego; se incrementó con los procesos de la industrialización. La revolución industrial utilizó como combustible la leña para la generación de vapor, energía para la tecnología del hierro y acero.

Durante el siglo XVI, en Inglaterra se utilizaban la madera como combustible, generando sus escases, siendo sustituida por la hulla como combustible, la misma que libera gran cantidad de sustancias químicas al ambiente como azufre, nitrógeno etc.

Durante los años 1837 a 1901, Inglaterra, sufrió los efectos de la contaminación industrial, manifestándose casos de enfermedades desconocidas atribuidas como transmisibles.

En el siglo XVIII comenzaron a extenderse las áreas urbanas, aumentó la dependencia de las ciudades hacia el campo para la obtención de los alimentos.

El desarrollo industrial aceleró la emisión de contaminantes

atmosféricos y partículas. Durante el siglo XIX la contaminación atmosférica causada por la industria se identificó como un problema, para la salud.

En el año 1952, Londres fue invadida por una niebla asociada a un régimen anticiclónico y a una inversión térmica; como resultado de las bajas temperaturas los calefactores estuvieron funcionando y las condiciones meteorológicas hicieron que la nube de humo persistiera sobre la ciudad durante varios días; causó 2 851 muertes en solo 9 días y 1 225 fallecimientos a la semana siguiente. En 1956 la niebla que envolvió a la ciudad durante 18 horas causó 1 000 muertes más de las previstas.

En 1889, se convocó la Convención Internacional para la Prohibición de las Armas Químicas.

Durante la Guerra Mundial (1915), Alemania utilizó por primera vez el cloro elemental, que desencadenó una intensa guerra química en el mundo.

En 1972, en Estocolmo, se celebró la Primera Conferencia sobre el Ambiente Humano de la Organización de Naciones Unidas, movimientos públicos persuadieron a los gobiernos a desarrollar una legislación para limitar las emisiones de contaminantes químicos tóxicos al ambiente.

En el 1982, se creó la Comisión Mundial de Ambiente y Desarrollo. En 1983, bajo la presidencia en esta comisión de la Dra. Gro Harlem Brundtland, Primera Ministra de Noruega, se intensificó el trabajo relacionado con temas del ambiente y la salud.

En el informe “Nuestro futuro común”, donde se estableció pautas fundamentales en los problemas ambientales e hizo un

llamado al “desarrollo sostenible”, para satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

El creciente desarrollo económico y tecnológico comenzó a borrar la línea divisoria entre los problemas ambientales locales y globales, entre los que se destacan la acidificación del ambiente, la destrucción de la capa de ozono y el incremento del calentamiento global de la tierra.

A consecuencia de ello y como una respuesta a la preocupación sobre la contaminación mundial y en una misión compartida:

En 1982, se celebró La Conferencia Multilateral sobre la Acidificación del Ambiente. Las precipitaciones ácidas tienen un pH inferior a 5,0 y sus precursores son el bióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno causado por la quema de combustibles fósiles. Estos gases oxidados en la atmósfera, reaccionan con el agua de lluvia formando ácidos sulfúrico y nítrico; fenómeno que daña la flora y la fauna, la pérdida del patrimonio cultural, por la destrucción de monumentos históricos y zonas arqueológicas.

En 1985, se aprobó el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, auspiciado por las Naciones Unidas, que adoptó medidas para proteger la salud y el ambiente de los efectos que provoca el agotamiento del ozono estratosférico, 49 países acordaron proteger la capa de ozono. Los compuestos químicos como los clorofluorocarbonados (CFC), que se encuentran en los aerosoles, los gases refrigerantes y los halones que son compuestos formados por bromo, flúor y carbono, son sustancias que se caracterizan por tener una gran capacidad de dañar la capa de ozono.

En 1987, se firmó el Protocolo de Montreal para fijar límites a la producción de CFC y halones, el cual entró en vigor en 1989 y ha sufrido sucesivas enmiendas. Se estima que solo los países subdesarrollados utilizan el 16 % del consumo mundial y resulta necesaria la transferencia de tecnologías para dejar de utilizar dichos gases.

En 1992, se realizaron Cumbres mundiales sobre medio ambiente y desarrollo sostenible en Río de Janeiro y Johannesburgo (2002), los que han evidenciado la necesidad de mejorar la calidad del aire y alcanzar un desarrollo social donde prevalezca la equidad y el respeto por la naturaleza.

En 1985, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) invitaron a científicos de 29 países para analizar el calentamiento de la atmósfera, se creó un comité técnico para estudiar este fenómeno.

Durante 1990, la Asamblea General de las Naciones Unidas creó el Comité Intergubernamental de Negociación para la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CIN/CMCC), con representantes de 150 países.

2.1.4. Clasificación de la contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es la presencia en el ambiente de cualquier sustancia química, partículas, microorganismos que alteran la calidad ambiental y la posibilidad de vida. Las causas de la contaminación pueden ser naturales o artificiales, generado principalmente por la quema de combustibles fósiles (plantas de energía que funcionan a carbón, fabricas y vehículos), partículas y gases industriales.

El problema de la contaminación atmosférica se relaciona con la densidad de partículas, gases y la capacidad de dispersión, teniendo en cuenta la formación de lluvia ácida y sus posibles efectos sobre los ecosistemas.

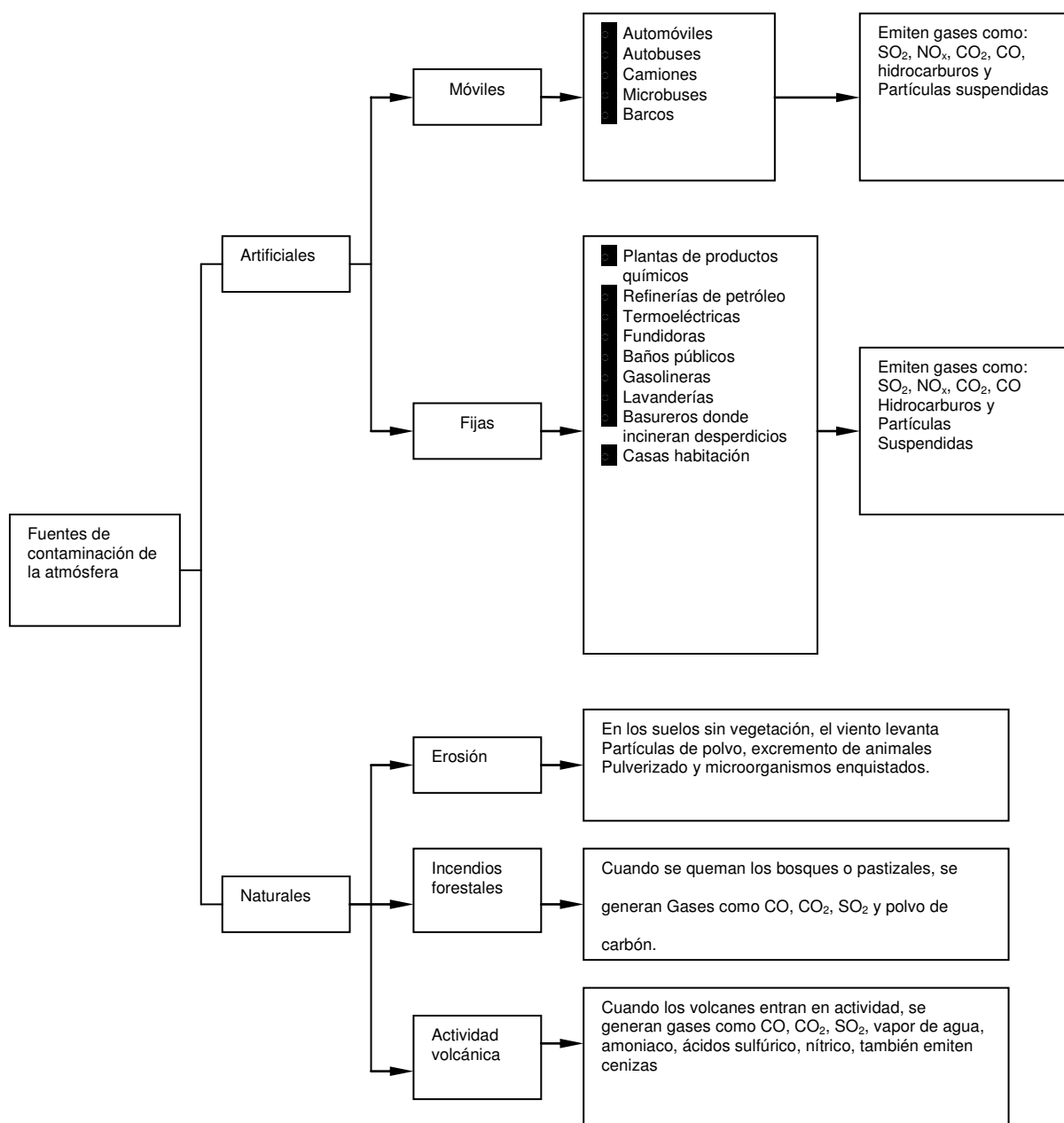
La contaminación del aire afecta a los países desarrollados y en vías de desarrollo; el incremento de los gases y la emisión de partículas, que dañan a la salud. Las principales fuentes de contaminación atmosférica se clasifica en:

Fuentes naturales:

Las fuentes naturales de contaminación son procesos propios de la naturaleza, como erupciones volcánicas, la actividad biológica de microorganismos, los huracanes, tornados, incendios naturales, plantas en descomposición (metano, sulfuro de hidrogeno).

La contaminación atmosférica por fuentes naturales es mayor que la antropogénica; sin embargo estos últimos presentan amenaza para el ecosistema cuando superan los límites máximos permisibles.

Cuadro 6. Fuentes de Contaminación de la Atmósfera



Fuente: ATSDR-Agency for toxic substances and desage registry - 2002

Fuentes antropogénicas:

Procesos industriales, calderas de vapor, centrales térmicas de electricidad utilizan combustibles fósiles en la generación de calor, la contaminación del aire depende del contenido de azufre en el combustible carbón, petróleo; la combustión libera emisiones de azufre en forma de anhídrido sulfuroso, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, metales pesados, plomo, etc.

La industria siderurgia emite partículas, SO₂, CO, NO₂, óxido de hierro; mientras que la refinería de petróleo causa SO₂, HC, CO, NO₂, amoníaco, humos y partículas; la industria química emite SO₂, nieblas de ácidos sulfúrico, nítrico y fosfórico, que causa olores desagradables.

Los principales focos antropogénicos de emisiones primarias se clasifica en:

Focos fijos	Industriales	Procesos industriales
		Instalaciones fijas de combustión
	Domésticos	Instalaciones de calefacción
Focos móviles	Vehículos automóviles	
	Aeronaves	
	Buques	
Focos compuestos	Aglomeraciones industriales	
	Áreas urbanas	

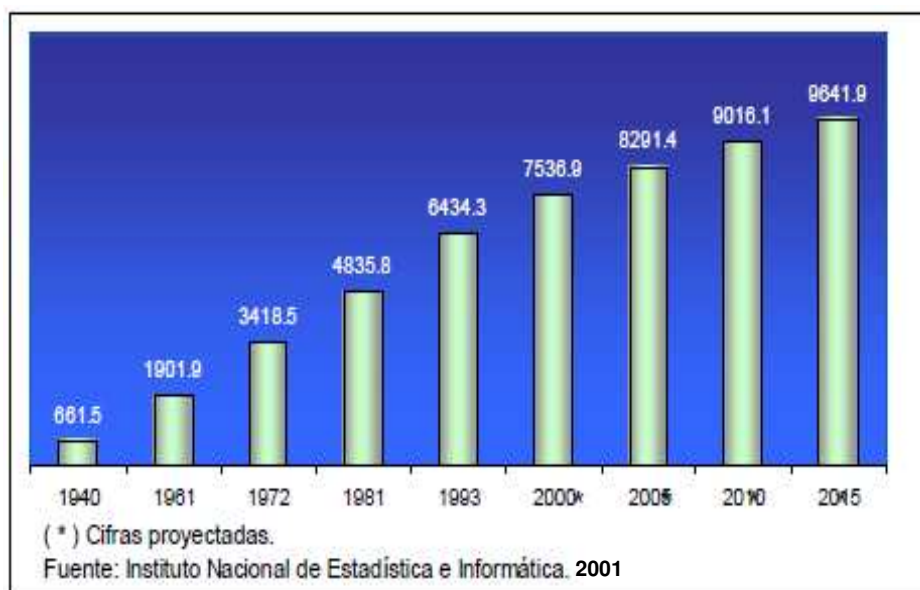
La proporción entre las emisiones primarias naturales y antropogénicas para los distintos contaminantes se muestra en el siguiente cuadro 7.

Cuadro 7. Focos de emisión

Contaminante	Antropogénicos %	Naturales %
Aerosoles	11.3	88.7
SO2	42.9	57.1
CO	9.4	90.6
NO2	11.3	88.7
HC	15.5	84.5

Fuente: Ayuntamiento de León, España - 2001

Cuadro 8. Crecimiento de la Población de Lima Metropolitana



Ver anexo 1. Población Total, Crecimiento Intercensal, Anual y Tasa de Crecimiento Promedio Anual, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2005 Y 2007, INEI.

Ver anexo 2. Población Censada, Según Departamento, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 Y 2007, INEI.

Ver anexo 3. Población Censada, Según Departamento, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 y 2007, INEI

■ Entre los sectores que dan lugar a la mayor emisión de contaminantes atmosféricos tenemos:

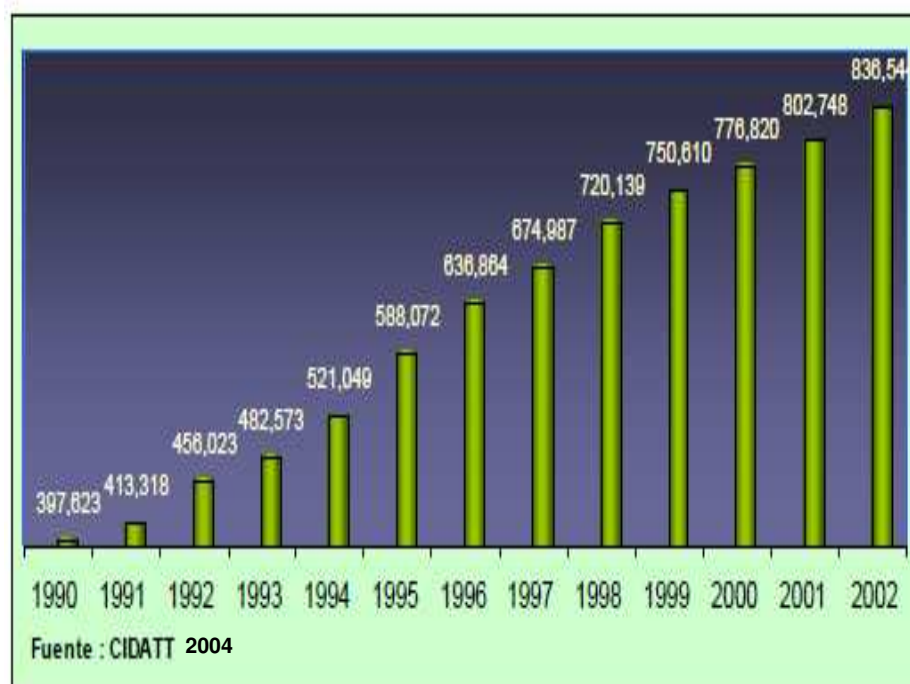
Fuentes estacionarias industrial y doméstico de combustibles fósiles:

La siderurgia produce contaminantes en grandes cantidades de partículas, SO₂, CO, NO₂, fluoruros y humos de óxidos de hierro; así mismo las refinerías de petróleo produce SO₂, HC, CO, NO₂, amoníaco, humos y partículas; también la industria química produce SO₂, nieblas de ácidos sulfúrico, nítrico y fosfórico y causa olores desagradables.

Fuentes móviles:

Los automóviles emiten monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados, y compuestos de plomo (tetra etilo de plomo, aditivo que se añade para aumentar su índice de octano); los vehículos a motor Diesel emiten partículas en forma de hollín, hidrocarburos no quemados, óxido de nitrógeno y anhídrido sulfuroso.

Cuadro 9. Crecimiento del parque automotor de Lima Metropolitana



El 64% del parque vehicular nacional se concentra en Lima y Callao; al 2004 el parque industrial era de 18,914 industrias; el parque automotor de 851,050 vehículos; el parque automotor nacional crece en un 3.81%; el parque automotor de Lima y Callao emite al año 329,814 toneladas de CO, 6,205 toneladas de PTS, 11,261 toneladas de SO₂.

La tasa de crecimiento de la ciudad de Lima, desde 1961 a 1972 fue de 5.4%, causado por la migración rural urbano; Desde los años 70 al 2000 la tasa de crecimiento fue de 2.5%, la población crece a un ritmo de 140,000 personas por año, demandan servicios de transporte, vivienda y trabajo. Al no haber un desarrollo ordenado y planificado de las ciudades, las personas viven hacinadas generándose focos de tuberculosis, con falta de oportunidades de empleo y alto índice delincuencia. Estas condiciones no permiten que se desarrolle la capacidad asimiladora y regenerativa de la naturaleza.

Cuadro 10. Emisión de PTS, SO₂, NO₂- Parque Automotor de Lima y Callao

Categorías	Porcentaje de emisiones					
	PTS	SO ₂	NO _x	CO	Plomo	COV
Automóvil y station wagon	5	4	6	13	31	21
Taxis y moto taxis	16	12	21	68	51	46
Pick up, rural y panel	21	19	11	13	16	16
Camiones, buses y remolcadores	58	65	62	6	2	17
Emisiones (toneladas/año)	6,205	11,261	70,501	329,814	203	72,512

Fuente: CIDATT

Fuentes de interiores:

Incluyen humos de cigarrillo, fuentes biológicas como polen, ácaros, insectos, micro organismos, mascotas alergénicas, emisiones de combustión, emisiones de materiales de interiores o sustancias tales como compuestos orgánicos volátiles, plomo, radón, asbestos, diversos químicos sintéticos y otros.

Por su forma física: gases y aerosoles (líquidos y sólidos).

Por su origen:

Primarios: partículas sólidas y líquidas en suspensión, gases y vapores que se emiten directamente en la atmósfera.

- a. Partículas de Material en suspensión (MPS), Incluye partículas totales en suspensión (PTS), PM₁₀; partículas con diámetro aerodinámico menores a 10 micras, PM₁₀; partículas de diámetro aerodinámico menores de 2,5

micras, PM_{2,5}; partículas finas y ultra finas; gases de combustión de diesel; cenizas volátiles de carbón; polvos de minerales (carbón, asbestos, limos, cementos, sílice), polvo metálico y humos, nieblas acidas, partículas de fluoruros, pigmentos de pintura, nieblas de pesticidas, carbón, humos de aceite y muchos otros. Las partículas en suspensión provocan enfermedades respiratorias y pueden causar cáncer, corrosión, destrucción de la vida de las plantas.

- b. Contaminantes gaseosos, incluye compuestos sulfurosos y trióxido de azufre), monóxido de carbono; compuestos de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, amoníaco; compuestos orgánicos hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos y derivados halógenos, aldehídos; compuestos halógenos de HF y HCl) y sustancias olorosas.
- c. Se pueden formar contaminantes secundarios por reacciones termales, químicas o fotoquímicas, por acción térmica el SO₂ puede ser oxidado a SO₃, el cual disuelto en agua, da lugar a la formación de nieblas de ácido sulfúrico catalizado por óxidos de hierro y manganeso. Reacciones fotoquímicas entre NO_x e hidrocarburos reactivos pueden producir ozono (O₃), formaldehídos (HCHO) y nitrato peroxiacetyleno (NPA); reacciones entre HCl y HCHO pueden formar éter diclorometílico.
- d. Olores, generalmente son causados por agentes químicos específicos tal como el Sulfuro de Hidrógeno (H₂S), desulfuro de carbono (CS₂), etc.
- e. Metales pesados, emanación de polvos, gases y humos de plomo, arsénico, cadmio, zinc, mercurio, cobre, etc.

2.1.5. Material Particulado - PM 10

Son partículas que se encuentran dispersas en el aire y cuyo diámetro aerodinámico es menor a 10 micrómetros (un micrón es la milésima parte de un milímetro).

Estas partículas se encuentran flotando en el aire y pueden ser solidas o liquidas, orgánicas e inorgánicas siendo su origen mayoritariamente natural las mismas que debido a su pequeño tamaño tienen una velocidad de sedimentación muy baja pudiendo mantenerse en el aire por mucho tiempo y logrando alcanzar distancias de hasta 30 millones con referencia a su lugar de emisión. Las mismas que al ser inhaladas afectan la salud de las personas penetrando en las vías respiratorias pudiendo en su camino adherirse a sus paredes y ocasionar síntomas respiratorios severos (tos, dificultad para respirar, agrava el asma) y llegar hasta los pulmones produciendo enfisemas o cáncer pulmonar. También producen alteraciones en la coagulación de la sangre y en la mayor incidencia en el desarrollo de las enfermedades cardiacas.

En Lima diariamente 16 personas mueren prematuramente por la contaminación del aire y más de 13,000 personas mueren al año por la misma causa.

Las PM10 al ser inhaladas penetra con facilidad en el sistema respiratorio, causando efectos adversos a la salud respiratoria; siendo los más dañinos los producidos por los metales pesados y compuestos orgánicos que pueden causar enfermedades como el cáncer).

Las PM10 causan enfermedades respiratorias de tipo cardiovascular, y cáncer de pulmón; la exposición a partículas

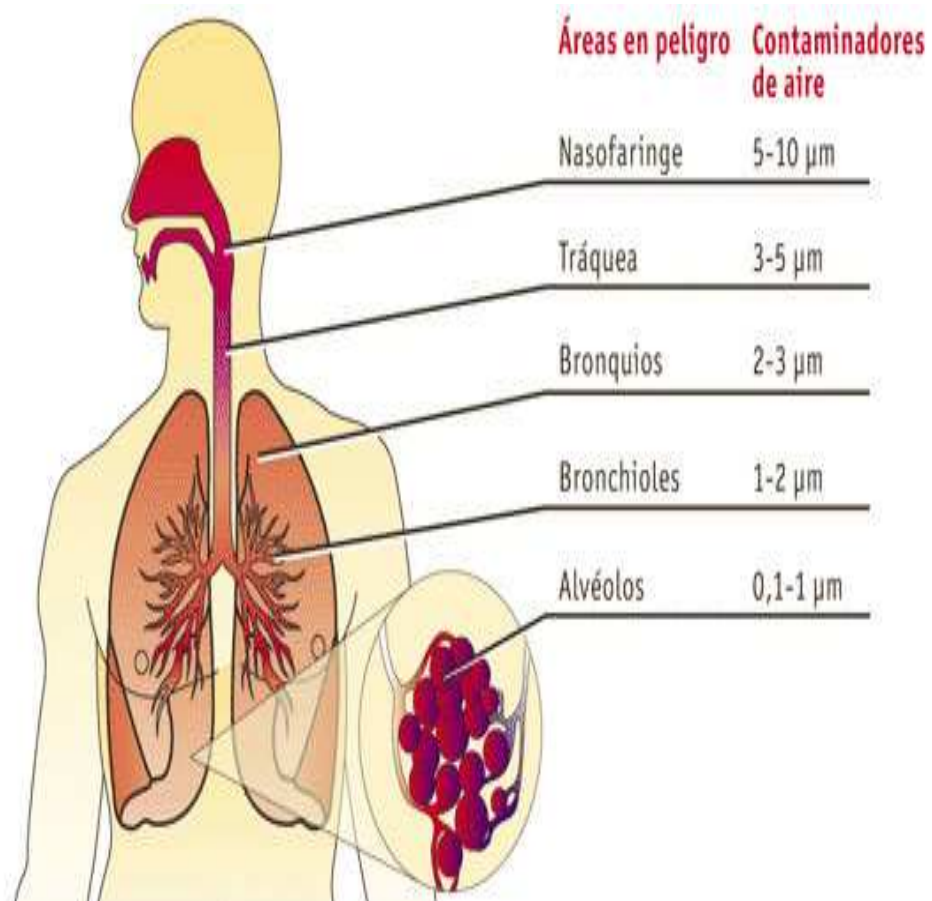
en suspensión puede reducir la esperanza de vida de dos años. Los efectos a la salud pueden ser tos, dificultad para respirar, agravado del asma, disminución de la función del pulmón y enfermedades respiratorias, muerte prematura en individuos con enfermedades cardiovasculares.

2.1.6. Material Particulado - PM 2.5

Es el material particulado respirable disperso en la atmosfera con diámetro igual o menor a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$).

Estas partículas, ingresan con mayor facilidad a los pulmones, son partículas muchísimo más pequeñas que la pelusa que vemos a la luz del sol y pueden llegar al torrente sanguíneo. Las fuentes de partículas finas incluyen la combustión en vehículos, generadores, quema de madera, procesos industriales; las partículas entre 2.5 y 10 micrómetros de diámetro tienen su origen en polvos que se levanta en las vías de tránsito no pavimentados; las partículas finas pueden acumularse en el sistema respiratorio; la exposición a partículas gruesas puede agravar el asma y bronquitis crónica, mientras que el material fino asociarse con efectos graves.

Cuadro 11. Partículas respirables menores a 4 micras



2.1.7. Partículas totales en suspensión PTS

Las partículas en suspensión son elementos sólidos o líquidos dispersos en el aire, de origen natural o artificial, se clasifican en: partículas sólidas, orgánico, de animal, vegetal, bacterias, hongos, polen, aerosoles, nieblas, partícula de mineral como sílice; el tráfico vehicular, la combustión en los motores, el roce de las ruedas con el pavimento, los humos de motores diesel emiten partículas finas y ultra finas de hidrocarburos; clima, dirección del viento, fábricas, edificios, humo de chimeneas, densidad de tráfico, estación del año, sistema de filtración, humidificación, conductos de suministro de aire, las partículas más finas pasan al torrente sanguíneo causando efectos sobre la salud humana.

2.1.8. Dióxido de azufre

El dióxido de azufre (SO_2) es un gas incoloro, de olor asfixiante estable no inflamable, no explosivo. Es un contaminante precursor de la lluvia ácida reactivo, se produce durante la quema de combustibles que contienen azufre, como carbón y derivados de petróleo, fundición de metales y procesos industriales, plantas de generación termoeléctrica, calentadores industriales; las mayores concentraciones de SO_2 están cerca a las industrias.

Los niños y adultos con asma son los más vulnerables, el estrechamiento de las vías respiratorias (bronco constricción), puede causar síntomas como opresión del pecho y dificultad para respirar; estos síntomas se vuelven más graves conforme aumentan las concentraciones del SO_2 . En la atmósfera el bióxido de azufre se convierte en trióxido de azufre al

reaccionar con el oxígeno; el SO_2 y el SO_3 reaccionan con la humedad del aire para formar ácido sulfuroso (H_2SO_3) y sulfúrico (H_2SO_4); la contribución del SO_2 en el sector transporte a las emisiones mundiales de SO_2 se estima entre un 2 y 6%.

El sulfuro de hidrógeno (H_2S) es el compuesto más importante que contiene sólo hidrógeno y azufre. Es un gas incoloro que tiene un olor fétido (semejante al de los huevos podridos) y es muchísimo más venenoso que el monóxido de carbono, pero se advierte su presencia (por su olor) antes de que alcance concentraciones peligrosas.

Los sulfuros metálicos pueden clasificarse en tres categorías: sulfuros ácidos (hidrosulfuros, MHS , donde M es igual a un ion metálico univalente), sulfuros normales.

Los óxidos de azufre que han sido caracterizados tienen las fórmulas SO , S_2O_3 , SO_2 , SO_3 , S_2O_7 y SO_4 .

El dióxido de azufre, SO_2 , y el trióxido de azufre, SO_3 , son de mayor importancia que los otros; el dióxido de azufre puede actuar como agente oxidante y como agente reductor, reacciona con el agua para producir una solución ácida (llamada ácido sulfuroso); se emplea como gas refrigerante como desinfectante y conservador, así como agente blanqueador, y en el refinado de productos de petróleo, su uso principal está en la manufactura de trióxido de azufre y ácido sulfúrico.

Los efectos del Azufre sobre la salud, durante diversos procesos se añaden al medio ambiente enlaces de azufre dañinos para los animales y los hombres, estos enlaces de azufre dañinos también se forman en la naturaleza durante

diversas reacciones, sobre todo cuando se han añadido sustancias que no están presentes de forma natural. Los compuestos del azufre presentan un olor desagradable y a menudo son altamente tóxicos, pueden tener los siguientes efectos en la salud humana:

- Efectos neurológicos y cambios comportamentales
- Alteración de la circulación sanguínea
- Daños cardíacos
- Efectos en los ojos y en la vista
- Fallos reproductores
- Daños al sistema inmunitario
- Desórdenes estomacales y gastrointestinales
- Daños en las funciones del hígado y los riñones
- Defectos en la audición
- Alteraciones del metabolismo hormonal
- Efectos dermatológicos
- Asfixia y embolia pulmonar

Efectos ambientales del Azufre

El azufre en el aire puede provocar irritaciones en los ojos y garganta de los animales, a través de la inhalación del gas,

Los efectos dañinos del azufre en los animales son principalmente daños cerebrales, a través de un malfuncionamiento del hipotálamo, y perjudicar el sistema nervioso.

El azufre puede causar graves daños vasculares en las venas del cerebro, corazón y riñones, pueden causar daños fetales y efectos congénitos, las madres pueden incluso transmitirles envenenamiento por azufre a sus hijos a través de la leche

materna, el azufre puede dañar los sistemas enzimáticos internos de los animales.

2.1.9. Dióxido de nitrógeno

Es un gas tóxico, formando por la combinación de oxígeno y nitrógeno.

El bióxido nitroso, el trióxido de nitrógeno (N_2O_3), el pentóxido de nitrógeno (N_2O_5) suelen considerar en conjunto con la denominación de NO_2 ; que es un gas incoloro e inodoro, tóxico a altas concentraciones y presente en el aire en menos de 0,50 ppm. Los óxidos de nitrógeno son producidos por fenómenos naturales: relámpagos, erupciones volcánicas y la acción bacteriana en el suelo, y además por fuentes antropogénicas como los combustibles de motores de combustión interna.

Una vez en la atmósfera puede participar en una serie de reacciones, en presencia de radiación ultravioleta producen smog fotoquímico lo que reduce la visibilidad; reacciona con la humedad del aire y forma ácido nítrico en forma de aerosol; los vehículos automotores son los principales responsables de las emisiones; en el mundo el 43% de las emisiones provienen del sector transporte.

El dióxido de nitrógeno (NO_2) es un gas de color café rojizo, altamente reactivo, que se forma cuando otro contaminante, el óxido nítrico (NO) se combina con el oxígeno del aire, una vez que se ha formado, el dióxido de nitrógeno reacciona con los compuestos orgánicos volátiles (COVs) para formar el ozono a nivel del suelo, la fuente son los automóviles, las plantas de generación, los procesos industriales de combustión.

Los niños y adultos con enfermedades respiratorias como el asma, puede causar síntomas respiratorios como la tos y dificultad para respirar. A exposiciones cortas pueden afectar la función pulmonar en individuos muy sensibles; en niños a exposición de corto plazo pueden incrementar el riesgo de enfermedades respiratorias; estudios con animales a exposición prolongada en dióxido de nitrógeno se pueden incrementar infecciones pulmonares y causar cambios estructurales permanentes en los pulmones.

Los óxidos de nitrógeno son un grupo de gases conformado por el nitrógeno y oxígeno; el nitrógeno es el elemento más común del aire y representa el 78 por ciento del aire que respiramos; los óxidos de nitrógeno incluyen compuestos como óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). Las fuentes de óxidos de nitrógeno son la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales, la actividad volcánica, emisión de gases de los escapes de vehículos y la quema de combustibles fósiles.

El óxido nítrico es relativamente inofensivo, pero el dióxido de nitrógeno puede causar efectos en la salud; en proceso de combustión, el nitrógeno en el combustible y el aire se oxida para formar óxido nítrico. Los óxidos nítricos en el aire se convierten en dióxido de nitrógeno mediante reacciones fotoquímicas. Una relación aire/combustible reducida da lugar a altas emisiones de óxidos de nitrógeno. Las altas temperaturas que se registran en el interior de los motores provocan la oxidación del nitrógeno atmosférico, produciéndose óxidos de nitrógeno que son expulsados por el escape del vehículo. El dióxido de nitrógeno daña el sistema respiratorio porque es capaz de penetrar las regiones más profundas de los pulmones; así mismo, contribuye en la lluvia ácida.

La Organización Mundial de la Salud señala que las partículas más finas causan daños según el tiempo de exposición, y la concentración del agente contaminante; las personas que presentan enfermedades respiratorias, el corazón, asma, obstrucción pulmonar crónica, congestiones cardíacas; expuestos a material particulado tienen riesgo de incrementar el agravamiento de cuadros clínicos; las personas de edad avanzada son sensibles a la exposición de estos agentes contaminantes, pudiendo presentar alteraciones de la función cardíaca.

2.1.10. Efectos de la contaminación atmosférica

El pulmón es la mayor superficie corporal que está en contacto con los componentes gaseosos, el 70% del aire inspirado llega a los alvéolos; las partículas, gases, humus, microorganismos, virus, hongos, alérgenos, humedad, sustancias volátiles, pasan a la tráquea, bronquios y alvéolos, causando enfermedad respiratoria aguda o crónica. Los niños y ancianos son los más vulnerables por los insuficientes mecanismos de defensa.

Los vehículos automotores son la mayor fuente de monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos no quemados, ozono y otros oxidantes fotoquímicas, plomo, partículas suspendidas totales de bióxido de azufre y los compuestos orgánicos volátiles, pueden provocar efectos inflamatorios irritativos en el aparato respiratorio.

La contaminación industrial de chimeneas, incendios forestales, disolventes, pinturas y resinas que aumentan la concentración de partículas y gases tóxicos como el dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono, aerosoles y desechos, afectan directamente a las vías respiratorias, en asmáticos y cardiovasculares. Los gases, partículas, humos, microorganismos, virus, hongos, humedad, sustancias volátiles del aire que respira una persona pasa por la tráquea, bronquios y alvéolos pulmonares, causa enfermedad respiratoria; los niños y ancianos son más vulnerables, por mecanismo insuficiente de defensa; las partículas grandes se quedan en la fosa nasal, el 70% del aire inspirado menores a 0.5 micras pasan hasta los alvéolos pulmonares; causando asma bronquial, caracterizada por la obstrucción bronquial intermitente, motivados por broncos pasmo y edema de la mucosa, consecuentes a un fondo de hiperactividad bronquial; los factores como la ansiedad puede exacerbar el asma, la personalidad puede influir negativamente sobre el pronóstico de la enfermedad, se ha observado que el riesgo por asma es elevado en pacientes con ansiedad y depresión que abandonan el tratamiento psicótopo.

El plomo ingresa al organismo por las vías respiratorias, pudiendo las partículas pequeñas respirables llegar al tejido pulmonar. Las partículas de 2.9 μm incrementan el plomo en heces fecales por ingesta, las partículas que logran llegar al

pulmón es absorbido en su totalidad sin importar su composición química, el depósito de partículas en pulmón sería del 30-50 % de inhalado dependiendo del tamaño de las partículas; los niños absorberían de 1.6 a 2.7 veces más que los adultos. La absorción gastrointestinal en adultos es de 10% al 15%; la absorción neta en niños es de 42% al 50%; los factores que afectan la absorción son la dieta en adultos que llega hasta un 45% en ayuno. Las infecciones respiratorias y las diarreas generan más de tres millones de muertes cada año según la OMS

Daños de la contaminación del aire

- Daños a la vegetación: alteraciones foliares, reducción del crecimiento de las plantas, disminución de la floración, etc.
- Alteraciones del medio ambiente: reducción de la visibilidad, efecto de invernadero, afectación de la capa de ozono, lluvia ácida, etcétera.
- Efectos psicológicos sobre el hombre.
- Efectos fisiológicos sobre el hombre: agudos y crónicos.
- Pérdidas por efectos directos o indirectos en el ganado y en las plantas.
- Pérdidas por la corrosión de materiales y de sus revestimientos de protección.
- Pérdidas por gastos de mantenimiento de las edificaciones y la depreciación de objetos y mercancías expuestos.
- Gastos directos por la aplicación de medidas para reducir el humo y las emanaciones de las fábricas.
- Pérdidas indirectas por mayores gastos de transporte en tiempo de niebla contaminada, o de electricidad por la necesidad de encender el alumbrado antes del horario establecido.

- Gastos administrativos de la lucha contra la contaminación.
- Costo en investigaciones destinadas a la contaminación ambiental. (Ver cuadro 12,13 y 14)

Cuadro 12. Individuos sensibles por contaminantes del aire

Contaminante	Individuos sensibles
Ozono	Niños que pasan tiempo en exteriores, adultos que realizan actividad física significativa en exteriores e individuos con enfermedades respiratorias como el asma.
Material particulado	Personas que presentan enfermedades de los pulmones o el corazón, tales como asma, obstrucción pulmonar crónica, congestiones cardíacas o similares. Niños, ancianos y mujeres embarazadas
Monóxido de carbono	Personas con enfermedades cardiovasculares, tales como angina o aquellas con afectaciones que comprometen a los sistemas cardiovascular y respiratorio (por ejemplo, fallas congestivas del corazón, enfermedades cerebro vasculares, anemia, obstrucción crónica del pulmón) y las mujeres embarazadas, los bebés en gestación y recién nacidos.
Dióxido de azufre	Niños, adultos con asma u otras enfermedades respiratorias crónicas y personas que realizan actividades físicas en exteriores.
Dióxido de nitrógeno	Niños y adultos con enfermedades respiratorias como el asma.

Fuente: CIDATT - 2004

Cuadro 13. Efectos de los contaminantes atmosféricos sobre el sistema respiratorio

Contaminantes	Efecto a corto plazo	Efecto a largo Plazo
Material particulado “respirable” (PM10) y fino (PM2.5)	Aumento de morbilidad respiratoria Disminución en la función pulmonar Interferencia en mecanismos de defensa pulmonar: fagocitosis y depuración mucociliar Síndrome bronquial obstructivo	Daño y menor desarrollo de la estructura y función del sistema respiratorio Mayor riesgo de cáncer en la edad adulta
Particulado Ultra fino (PM 0.1)	Mayor respuesta inflamatoria. (Comparando con PM10 Y PM2.5). Ingreso rápido al sistema circulatorio y a otros órganos	
Ozono (O3)	Disminución de frecuencia respiratorio de CVF y VEF Alveolitis neutrofílica, aumento de permeabilidad e hiperactividad bronquial. Alteración del epitelio alveolar (células tipo II)	Daño de células epiteliales, “bronquiización” alveolar Disminución del desarrollo de CVF y VEF1
Dióxido de azufre (SO2)	Obstrucción bronquial Hipersecreción bronquial	Bronquitis crónica
Dióxido de nitrógeno (NO2)	Hiperactividad bronquial Aumento de síntomas respiratorios y exacerbaciones de asma Aumenta la respuesta a la provocación con alérgenos Disminución de la actividad mucociliar	Posible decremento del desarrollo pulmonar
Monóxido de carbono (CO)	Disminución en la capacidad de ejercicio	
Plomo (Pb)	Alteración del epitelio bronquiolar (células de Clara)	

CVF: Capacidad vital forzada, VEF: Volumen espiratorio forzado en el primer segundo.

Fuente: CIDATT - 2004

Cuadro 14. Efectos no respiratorios de los contaminantes atmosféricos

órgano / Sistema	Contaminantes	Efectos
Cardiovascular	Material particulado	Disminución de la variabilidad en la frecuencia cardíaca ante el estrés.
	Monóxido de carbono	Interfiere el transporte de O ₂ por la hemoglobina
	Plomo / Vanadio	Mayor frecuencia de hipertensión arterial en población adulta
	Ozono (O ₃)	Comunicación interventricular (administración prenatal en ratas)
Unidad materno-fetal	CO y PM 2.5 (Hidrocarburos aromáticos poli cíclicos: HAP)	Bajo peso de nacimientos Baja talla al nacer
Sistema nervioso Central y autonómico	Monóxido de carbono	Cefalea, irritabilidad, disminución de percepción auditiva y visual, compromiso progresivo y letal de conciencia en concentraciones altas.
	Plomo	Cefalea, irritabilidad, disminución de percepción auditiva y visual. Compromiso progresivo y letal de conciencia en concentraciones altas Hiperquinesis, trastornos del aprendizaje, encefalopatía, cólicos intestinales
	Ozono (O ₃)	Daño cerebeloso en células de Purkinje (administrado prenatalmente en ratas)
Renal	Cadmio y Vanadio	Toxicidad renal
	Plomo	Tubulopatía
Hematopoyético	Plomo	Anemia
Óseo	Plomo	Reemplazo del Ca ²⁺ en los huesos produciendo descalcificación

CVF: Capacidad vital forzada, VEF: Volumen espiratorio forzado en el primer segundo.

Fuente: CIDATT - 2004

2.1.11. Instituciones involucradas en la gestión de la calidad del aire en el Perú

La gestión ambiental se desarrolla a nivel internacional, nacional, regional y local, con acciones, responsabilidad e instrumentos de gestión, y la implementación institucional, como mecanismo integrador del desarrollo productivo, la equidad social y la protección ambiental; las instituciones involucradas son:

Ministerio del Ambiente

- a. Formular, aprobar, coordina, supervisar, ejecutar y evaluar el plan Nacional de Acción Ambiental y la agenda de acción ambiental.
- b. Dirigir el Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- c. Elaborar estándares de Calidad Ambiental y los Límites Máximos Permisibles.
- d. Aprobar los lineamientos, las metodologías, los procesos y los planes para la aplicación de los estándares de Calidad Ambiental y Límites Permisibles en los niveles de gobierno.
- e. Dirigir el Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental y el Sistema Nacional de Información Ambiental.
- f. Establecer los criterios y procedimientos para la formulación, coordinación y ejecución de planes de descontaminación y recuperación de ambientes degradados.
- g. Ejercer sanciones de amonestación, multa, comiso, inmovilización, clausura, suspensión, y la ejecución coactiva en los casos que corresponda.

Ministerio de Salud – DIGESA

- a. Propone y hace cumplir la política nacional en salud ambiental, a fin de controlar los agentes contaminantes y mejorar las condiciones ambientales para proteger la salud de las personas.
- b. Establecer las normas de salud ambiental y monitorear su cumplimiento.
- c. Conducir la vigilancia de riesgos ambientales y planificar medidas de prevención y control.
- d. Desarrollar investigación aplicada en función de la contaminación del aire.

Ministerio de la Producción – PRODUCE

- a. Formular, dirigir, coordinar, supervisar y evaluar la política de promoción de los sectores involucrados;
- b. Establecer el marco normativo de la actividad extractiva y productiva, la promoción a la libre competencia.
- c. Fiscaliza y supervisa el cumplimiento de la normas.
- d. Proporcionar políticas y normas de protección del medio ambiente y recursos naturales.

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento

- a. Diseñar , normar, ejecutar la política nacional y acciones del sector en materias de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento;
- b. Actualizar el marco normativo relacionado con su ámbito de competencia , en concordancia con el avance tecnológico y características socioculturales de la población de las diferentes regiones del país, fiscalización y supervisando su cumplimiento;

- c. Formular, proponer y en su caso, ejecutar políticas de prevención de riesgos frente a fenómenos naturales;
- d. Coordinar con los sectores, gobiernos regionales, locales, instituciones y organismos públicos y privados, nacionales e internacionales, la generación de programas y proyectos de desarrollo del hábitat y conservación del medio urbano.

Ministerio de transporte y comunicaciones- MTC

- a. Proponer las políticas del sector transporte en materia socio ambiental;
- b. Proponer normas socio- ambientales del sector;
- c. Evaluar, aprobar y supervisar los componentes socio- ambientales de los proyectos de infraestructura en todas sus etapas;
- d. Emitir opinión técnica especializada sobre asuntos socio ambiental del sector.

2.1.12. Estándar de Calidad Ambiental – ECA

Estándar de Calidad Ambiental – ECA, regulada mediante Ley General del Ambiente, artículo 31º, el ECA es la medida que establece el nivel de concentración de sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente; según el parámetro en particular a que se refiera.

Artículo 32º, el Límite Máximo Permisible como medida de la concentración de elementos, parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente, que al ser excedida puede causar daños a la salud, al bienestar

humano y el ambiente; según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. El LMP guarda coherencia entre el nivel de protección ambiental establecido para una fuente determinada y los niveles generales que se establecen en los ECAs.

Kiely, Gerard (1999). La norma de calidad del aire establece límite tolerable de contaminantes presentes en el aire sin alterar las características adecuadas para la vida y la salud de las personas, así como para el medio ambiente.

Características de los ECAS y LMP

1. Medición, los LMP están referidos a las emisiones, se miden en la fuente; los ECA, en cambio están referidos al medio ambiente y se miden en el cuerpo receptor.
2. Naturaleza sectorial, a diferencia de los ECA, que no están referidos a ninguna actividad en especial, los LMP se aprueban para cada tipo de actividad económica (minería, hidrocarburos, industria).
3. Naturaleza técnica, los ECA y los LMP son valores objetivos, cuantificables y medibles de contaminación. Se expresan en unidades de medida, como máximos, mínimos o rangos, y son medibles por métodos científicos.
4. Temporalidad, los ECA y los LMP tienen una vigencia temporal, están sujetos a variación. Sus valores son revisados periódicamente y pueden ser modificados por la autoridad competente.
5. Riesgo para la salud o el medio ambiente, los ECA son valores tope que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni del ambiente. Los LMP

son valores que al ser excedidos pueden causar daños a la salud y el ambiente.

2.1.13. Índice de Calidad de Aire

El Índice de Calidad de Aire es una escala de rangos intermedios graficado en color; mientras más alto es el valor del ICA, mayor es el nivel de contaminación atmosférica, y riesgos para la salud.

En el Perú el índice de calidad del aire se estableció por Decreto Supremo N° 009-2003-SA Reglamento de los Niveles de Estados de Alerta Nacionales para Contaminación del Aire en niveles de alerta en eventos de contaminación crítica, para prevenir riesgos a la salud y evitar la exposición excesiva de la población a la contaminación del aire:

1. Estado de cuidado, nivel de concentración del contaminante puede causar efectos en la salud de persona sensibles, como niños, ancianos, madres gestantes, personas con enfermedades respiratorias obstructivas crónicas (asma, bronquitis crónica, enfisema, entre otras) y enfermedades cardiovasculares.
2. Estado de peligro, nivel de concentración del contaminante genera riesgo de causar efectos serios en la salud de cualquier persona.
3. Estado de emergencia, nivel de concentración de los contaminantes críticos generan un alto riesgo de afectar seriamente la salud de toda la población expuesta.

Índice de Calidad de Aire

Cuadro 15. Parámetro de Calidad de Aire para una Zona Urbana

ECA PM10 50 ug/m3	ECA PM2.5 15 ug/m3	ECA PTS 75ug/m3	ECA SO2 80ug/m3	ECA NO2 100ug/m3	ÍNDICE DE CALIDAD	NIVEL DE RIESGO		ACCIONES DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN
						Califica ción	escala de color	
0 - 25	0 - 7	0 - 37	0 - 39	0 - 50	0 - 50	buena	verde	la calidad del aire es satisfactoria
26 - 50	8- 15	38- 75	40 - 80	51 - 100	51 -100	regular	amarillo	La calidad del aire es aceptable, puede causar efecto moderado en la salud de personas sensibles
51 - 100	16 - 30	76 - 150	81 - 160	101 - 200	101- 200	mala	naranja	Miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos sobre la salud
101 - 200	31- 45	151 - 226	161 - 240	201 - 300	201 - 300	insalubre	rojo	Alerta de salud, efectos sobre la salud, Cardiovascular y asma.
> 200	> 45	> 226	> 240	> 300	> 300	peligrosa	morado	Advertencia de condición de emergencia, la salud de la población en riesgo

Fuente: Elaborado por el propio investigador, noviembre 2011, apoyado en las fuentes de VEGA Adela, BRAVO Luis (2005); PULIAFITO Enrique, QUARANTA Nancy (2009); Índice de calidad Gobierno de Aragón - España (2011).

El índice de calidad de aire tiene como propósito informar a la población de manera clara, oportuna y continua, sobre los niveles de contaminación atmosférica, los probables daños a la salud que ocasiona y las medidas de protección que puede tomar.

(Norma ambiental para el distrito federal NADF-009-AIRE-2006, que establece los requisitos para elaborar el índice metropolitano de la calidad del aire 2006)

VEGA Adela, BRAVO Luis (2005), por intermedio de la Universidad Nacional de Colombia, realizaron un estudio del índice de la calidad del aire del área Metropolitana del Valle de Aberra- Colombia, describieron los valores para partículas muy pequeñas PM 2.5 y partículas pequeñas PM 10, las categorías buena, moderada, inadecuada para grupos sensibles, peligroso, muy peligroso.

Para el caso del estudio de investigación de ha cruzado las normas de México con la de Argentina, que establece los valores del índice de calidad por porcentajes sobre la base de la ECA.

PROGRAMA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE DE GRAN METROPOLITANO DE COSTA RICA (2008). Establecieron valores normados para contaminantes del aire con dos valores de límites permisibles para una exposición aguda el tiempo de de exposición en horas y crónica con el tiempo de exposición crónica

PULIAFITO Enrique, QUARANTA Nancy (2009), por intermedio de la Universidad Tecnológica Nacional determinaron la calidad del aire en Argentina, en la escala de valores del índice de calidad del aire utilizaron porcentajes de variación, que se incrementan proporcionalmente hasta llegar a la categoría de condición del ambiente peligrosa para la salud.

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (2011). El Gobierno de Aragón- España estableció en cuatro categorías de índice de calidad del aire: buena, admisible, mala y muy mala.

La construcción del índice de Calidad del Aire, el índice tendrá un valor asignado de forma que cuanto mayor sea este pero será la calidad del aire; el índice para cada contaminante se realiza asignando, mediante interpolación lineal a cada concentración media de contaminante considerando un valor perteneciente a una escala. El valor cero de la escala corresponde al valor cero de la concentración y el valor 100 de la escala corresponde al valor de la concentración igual al valor del ECA, establecido en la norma vigente.

2.1.14. Prevención y control de la contaminación atmosférica

- Aplicación de las medidas normativas de la calidad del aire.
- Planificación urbana y regional.
- Reducción de la generación de contaminantes.
- Control de emisión de partículas en la fuente, con cámaras de sedimentación, separador inercial, purificación por vía húmeda, filtración y precipitación electrostática; control de las emisiones gaseosas por combustión, absorción o adsorción.

Vigilancia de la calidad del aire

1. Red de estaciones de muestreo.
2. Laboratorios para la determinación de los contaminantes.

3. Sistema de clasificación, análisis, archivo de la información.
4. Hacer el seguimiento del cumplimiento de las normas de la calidad del aire.
5. Observar tendencias de la contaminación, comprendidas las zonas no urbanas.
6. Acelerar los mecanismos de control en casos de emergencia.
7. Proporcionar una magnitud de exposición de la población.
8. Planificar el uso del espacio urbano.
9. Organizar campañas de sensibilización y lucha contra la contaminación.

Monitoreo de contaminantes atmosféricos

- Determinar el grado de contaminación del aire ambiental y su relación con las condiciones de exposición y los riesgos para la salud.
- Identificar las diversas fuentes a la contaminación de la atmósfera.
- Evaluar los resultados de las medidas de prevención y control del aire.

2.2. Definición de Términos

Alvéolo, pequeña cavidad pulmonar donde se extrae el oxígeno del aire traspasándolo al torrente sanguíneo. Inversamente eliminan el dióxido de carbono (CO₂) de la sangre. Los humanos poseen unos 300 millones de alvéolos.

Ambiente: Conjunto de todas las condiciones externas que influyen sobre la vida, el desarrollo y la supervivencia de un organismo.

Calidad, es un proceso de mejora continua, en donde todas las áreas de la empresa participan activamente en el desarrollo de productos y servicios, que satisfagan las necesidades del cliente.

Edwards Deming: la calidad no es otra cosa más que "Una serie de cuestionamiento hacia una mejora continua".

Ishikawa "Desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el más económico, el útil y siempre satisfactorio para el consumidor".

Capa de ozono, Acumulación de Ozono (O₃) situada entre 10 y 15 kilómetros de altura, formada por la acción de los rayos solares sobre las moléculas de oxígeno (O₂). Esta zona, que en realidad no es una capa sino un área en que hay mayor presencia de ozono, filtra la mayoría de los rayos ultravioletas que integran el espectro de la luz solar. Hay elementos que descomponen el ozono de la capa como los clorofluorocarbonos (CFC), usados en refrigeración, aerosoles enlatados y otros procesos, los que serían responsables del adelgazamiento en todo el planeta de la capa, fenómeno que es más álgido en el Polo Sur.

Combustión, Reacción química en la cual un material se combina con el oxígeno durante la evolución del calor o quema.

Compuestos orgánicos volátiles (COVs), son producidos por la evaporación de combustibles líquidos, disolventes y algunos productos químicos orgánicos como esmaltes, pinturas o limpiadores, así como de la combustión incompleta de gasolina y otros combustibles orgánicos y la actividad biológica de ciertas plantas y animales. En la atmósfera, los COVs reaccionan con otros compuestos, en presencia de luz solar, generando Ozono (O₃).

Concentración, Corresponde a la proporción de contaminante presente en un medio, generalmente expresada en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en fracción como partes por millón (ppm).

Concentración anual, Promedio aritmético de los valores de concentración trimestral de dióxido de azufre correspondientes a un año.

Contaminación sinérgica, es la producida por la asociación entre sustancias o energías, que generan un efecto contaminante mayor que el esperado de la adición de los efectos individuales de dichas sustancias o energías, el efecto es mayor al de la simple suma, aún cuando los elementos aisladamente puedan ser inocuos.

Contaminante, todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.

Estándar de Calidad Ambiental - ECA, es la medida que establece el nivel de concentración de elementos físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgos significativos para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiere, la concentración podrá ser expresada en máximos y mínimos.

Fuentes fijas, aquellas establecidas en un lugar determinado y su emisión se produce siempre en el mismo lugar.

Fuentes móviles, aquellas que cambian su ubicación con respecto al tiempo y el área de influencia de sus emisiones por lo que se considera lineal o de superficie.

Índice de Calidad del Aire (ICA) es herramienta usada para proveer al público información oportuna y fácil de comprender sobre la calidad del aire; indica si los niveles de polución son perjudiciales a la salud, informa al público si la condición del aire debe preocuparlos por su salud.

Lluvia ácida, se forma cuando la humedad en el aire se combina con el óxido de nitrógeno o el dióxido de azufre emitido por fábricas, centrales eléctricas y automotores que queman carbón o aceite. Esta combinación química de gases con el vapor de agua forma el ácido sulfúrico y los ácidos nítricos, sustancias que caen en el suelo en forma de precipitación o lluvia ácida. Los contaminantes que pueden formar la lluvia ácida pueden recorrer grandes distancias, y los vientos los trasladan miles de kilómetros antes de precipitarse con el rocío, la llovizna, o lluvia, el granizo, la nieve o la niebla normales del lugar, que se vuelven ácidos al combinarse con dichos gases residuales.

Partes por millón (ppm): Unidad de concentración que corresponde al fraccionamiento de una unidad en un millón.

Partes por billón (ppb), Unidad de concentración que corresponde al fraccionamiento de una unidad en un billón.

Partículas totales en suspensión (PTS), son materiales finamente divididos, presentes (suspendidos) en el aire, sólidos o líquidos de un diámetro igual o inferior a 50 micrómetros (μm). La fracción de PTS de tamaño superior a 10 micrones corresponde a partículas no respirables, depositándose en la parte superior del sistema respiratorio y son limpiadas y expulsadas a través de la tos o de la deglución.

Polvo, partículas sólidas finamente divididas, que se sedimentan por su propio peso pero que pueden permanecer suspendidas por algún tiempo.

El polvo es un término genérico utilizado para describir las partículas finas suspendidas en la atmósfera. El polvo proviene de una amplia variedad de fuentes, incluyendo el suelo, la vegetación (polen, hongos, la combustión de combustibles fósiles, la quema de biomasa, y la industria, Se forma cuando las partículas finas son absorbidos en la atmósfera por la acción del viento u otros trastornos físicos o mediante la liberación de partículas ricas en las emisiones gaseosas, los gases, tales como dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno reaccionan en la atmósfera a lo largo del tiempo para formar partículas finas, tales como sulfato de amonio y nitrato de amonio.

El polvo suele ser clasificados de acuerdo a su tamaño, Partículas suspendidas totales (PTS) se refiere normalmente a 50 micras (0.05mm diámetro), PM 10 se refiere a las partículas de 10 μ m (0,01 mm) de tamaño o menos PM 2.5 se refiere a las partículas de 2.5 μ m (0.0025mm) de tamaño o menores. El Tamaño de las partículas es un factor importante que influye en la dispersión y el transporte de polvo en la atmósfera y los efectos del polvo en la salud humana. Las partículas de polvo en la atmósfera pueden ser tan pequeños como unos pocos nanómetros, Las partículas finas generalmente se definen como las partículas de tamaño PM 10, Son fácilmente arrastradas por el viento o las perturbaciones y, en general tomar un tiempo para resolver de una vez en el aire, aunque pueden ser lavados desde el aire, la lluvia .

2.3. Marco Normativo

El Perú como miembro de las Naciones Unidas, desarrolla acciones de coordinación con el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, participa en los diversos foros; asimismo en la Comunidad Andina de Naciones, es miembro de la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica.

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, es una de las principales áreas programáticas de la agenda 21, para la protección y fomento de la salud humana. Su objetivo es reducir los riesgos y mantener el medio ambiente, que no se ponga en peligro la salud y seguridad humana, y que se siga fomentando el desarrollo.

En relación a la contaminación del aire en zonas urbanas, propone el desarrollo de tecnología adecuada para combatir la contaminación; propone la creación de capacidad de control de la contaminación del aire en las grandes ciudades, con programas de vigilancia.

Organización Mundial del Comercio OMC, en la Conferencia Ministerial de Doha, renovaron su compromiso en la salud y la protección del medio ambiente; acordaron iniciar una nueva ronda de negociaciones comerciales; los estándares ambientales internacionales que determinan el acceso de los productos al mercado internacional.

La Constitución Política del Perú; el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de sus recursos naturales; la décimo novena política de estado, sobre desarrollo sostenible y gestión ambiental propugna integrar la política nacional ambiental con las políticas económicas, sociales, culturales y de ordenamiento territorial, para contribuir a superar la pobreza y lograr

el desarrollo sostenible, asegurar la protección ambiental y promover centros poblados y ciudades sostenibles.

Política Nacional del Ambiente

Establecida en la Ley General del Ambiente, es un instrumentos de carácter público, que tiene como propósito definir y orientar el accionar de las entidades del gobierno nacional, regional y local; y del sector privado y de la sociedad civil, en materia ambiental; se diseñan y aplican de conformidad con lo establecido en la Política Nacional del Ambiente y deben guardar concordancia entre sí.

La Política Nacional del Ambiente tiene por objetivo mejorar la calidad de vida de las personas, garantizando la existencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales en el largo plazo; y el desarrollo sostenible del país, mediante la prevención, protección y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, de una manera responsable y congruente con el respeto de los derechos fundamentales de la persona.

Ministerio del Ambiente

En octubre del 2005, se aprueba la Ley N° 28611 “Ley General del Ambiente”, el cual se constituye en la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

Lineamientos de las Políticas Ambientales

- a. El respeto de la dignidad humana y la mejora continua de la calidad de vida de la población, asegurando la protección adecuada de la salud de las personas.
- b. La prevención de riesgos y daños ambientales, así como la prevención y el control de la contaminación ambiental, principalmente en las fuentes emisoras. La promoción del desarrollo y uso de tecnologías, métodos, procesos y prácticas de producción, comercialización y disposición final más limpias.
- c. El aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, la conservación de la diversidad biológica, a través de la protección y recuperación de los ecosistemas, las especies y su patrimonio genético. Ninguna consideración o circunstancia puede legitimar o excusar acciones que pudieran amenazar o generar riesgo de extinción de cualquier especie, subespecie o variedad de flora o fauna.
- d. El desarrollo sostenible de las zonas urbanas y rurales, incluyendo la conservación de las áreas agrícolas periurbanas y la prestación ambientalmente sostenible de los servicios públicos, así como la conservación de los patrones culturales, conocimientos y estilos de vida de las comunidades tradicionales y los pueblos indígenas.
- e. La promoción efectiva de la educación ambiental y de una ciudadanía ambiental responsable, en todos los niveles, ámbitos educativos y zonas del territorio nacional.
- f. El fortalecimiento de la gestión ambiental, por lo cual debe dotarse a las autoridades de recursos, atributos y condiciones adecuados para el ejercicio de sus funciones. Las autoridades ejercen sus funciones conforme al carácter transversal de la gestión ambiental, tomando en cuenta que las cuestiones y problemas ambientales deben ser considerados y asumidos integrales e intersectorialmente y al más alto nivel, sin eximirse de tomar en consideración o de prestar su concurso a la protección del ambiente incluyendo la conservación de los recursos naturales.

- g. La articulación e integración de las políticas y planes de lucha contra la pobreza, asuntos comerciales, tributarios y de competitividad del país con los objetivos de la protección ambiental y el desarrollo sostenible.
- h. La información científica, que es fundamental para la toma de decisiones en materia ambiental.
- i. El desarrollo de toda actividad empresarial debe efectuarse teniendo en cuenta la implementación de políticas de gestión ambiental y de responsabilidad social.

Ley N° 26842 Ley General de Salud (Capítulo VIII, art. 106), la Autoridad de Salud establece las medidas de prevención y control indispensables para que cesen los actos de contaminación ambiental que ponga en riesgo la salud de la población.

Estándares de calidad ambiental

Mediante la Ley General del Ambiente se estableció el Estándar de Calidad Ambiental- ECA, medida que establece el nivel de concentración de sustancias físico, químico y biológico en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud ni el ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Ninguna autoridad judicial o administrativa podrá hacer uso de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental, con el objeto de sancionar bajo forma alguna a personas jurídicas o naturales, a menos que se demuestre que existe causalidad entre su actuación y la transgresión de dichos estándares. Las sanciones deben basarse

en el incumplimiento de obligaciones a cargo de las personas naturales o jurídicas, incluyendo las contenidas en los instrumentos de gestión ambiental”.

Se tiene:

- D.S N° 003-2008 MINAM-Aprueba estándares de calidad ambiental.
- D.S. N° 069-2003 PCM- Donde se establecen los valores anuales de plomo.
- D.S. N° 085-2003 PCM-Aprueba el reglamento de estándares Nacionales de calidad Ambiental para ruido.
- D.S N° 010-2005-PCM Aprueba estándares de Calidad Ambiental (ECAS), para radiaciones no ionizantes.
- D.S. N° 074-2001-PCM Reglamento de estándares nacionales de calidad Ambiental del aire.

El Límite Máximo Permisible - LMP, Es la medida de la concentración de parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente. Según el parámetro en particular a que se refiera.

El LMP guarda coherencia entre el nivel de protección ambiental establecido para una fuente determinada y los niveles generales que se establecen en los ECA. La implementación de estos instrumentos debe asegurar que no se exceda la capacidad de carga de los ecosistemas, de acuerdo con las normas sobre la materia”.

Así tenemos:

Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire; el artículo 12 señala que el monitoreo de la calidad del aire y la evaluación de los resultados en el ámbito nacional es una actividad de carácter permanente, a cargo del Ministerio de Salud a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), quien podrá encargar a instituciones públicas o privadas dichas labores; el artículo 13, el inventario de emisiones es responsabilidad del Ministerio de Salud a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), el que se realizará en coordinación con las autoridades sectoriales, regionales y locales. El inventario podrá encargarse a una institución pública o privada especializada; el artículo 15 Programas de Vigilancia Epidemiológica y Ambiental, en aquellas zonas donde la diferencia entre los estándares nacionales de calidad ambiental del aire y los valores encontrados así lo justifique, programas de vigilancia epidemiológica y ambiental, a fin de evitar riesgos a la población, contando para ello con la participación de las entidades públicas y privadas.

Así tenemos:

- D.S N° 010-2008 PRODUCE- Límites máximos permisibles – LMP para la Industria de harina y aceite de pescado y normas.
- D.S. N° 011-2009 MINAN- Aprueban límites máximos permisibles para las emisiones de la industria de harina y aceite de pescado.
- D.S. N° 003-2002 PRODUCE-Aprueban límites máximos permisibles y valores referencia para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre.
- D.S. N° 047-2001 MTC- Establecen límites máximos permisibles de emisiones contaminantes para vehículos automotores que circulan en la red vial.

CAPITULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y Diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El estudio es de tipo cuantitativo (Hernández, Fernández y Baptista), 2006.

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental de corte transversal y descriptivo.

3.2. Contaminantes del Aire

Existen cuatro aspectos importantes en las áreas urbanas relacionadas con la contaminación del aire, que pueden afectar la salud pública.

- Contaminación del aire por contaminantes químicos y agentes biológicos.
- Contaminación acústica.
- Radiación.
- Campos electromagnéticos.

En el presente trabajo nos concentramos en la contaminación del aire por los contaminantes químicos y agentes biológicos en zonas urbanas de Lima y Callao que afectan a la salud pública y medio ambiente.

3.3. Contaminantes Criterio

Considerando la influencia directa que se tiene sobre la salud pública, en el presente estudio se ha considerado los siguientes contaminantes:

- Partículas menores a 10 micras (PM_{10})
- Partículas menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$)
- Partículas totales en suspensión (PTS)
- Dióxido de Azufre (SO_2)
- Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos de campo

El registro de datos de la contaminación ambiental de la zona urbana de Lima y Callao, se realizó utilizando las estaciones de muestreo:

- Lima Norte, ubicado en Guillermo La Fuente Cuadra 03 s/n, Santa Luzmila, distrito de Comas.
- Lima Sur, ubicado en la Av. Miguel Iglesias 968 - San Juan de Miraflores.
- Lima Centro, ubicada en la Av. Abancay cruce con Jr. Ancash, cercado de Lima.
- Lima Este, ubicado en la Av. Cesar Vallejo 1390, distrito El Agustino.
- Callao, ubicado en Jr. Colina N° 879, Bellavista Callao.

3.4.1. Instrumentos

- El protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de datos, según la Resolución Directoral N° 1404-2005-DIGESA-SA., proporciona los principios básicos para la operación de una red de monitoreo de la calidad del aire en exteriores de centros poblados.
- Límites Máximos Permisibles para emisiones gaseosas y material particulado.
- Estándar de Calidad Ambiental del Aire

Cuadro. 16. Formato de Levantamiento de datos

Recolección de datos de campos																						
<p>Matriz de dato de campo - monitoreo de activo PM₁₀</p> <p>N° de semana _____ verificado por _____ muestreo: PTS, PM₁₀</p> <p>operador _____ Nombre de estación _____</p> <p>Tipo de filtro _____ Método de equipo de muestreo _____</p>																						
Muestreo de datos de campo							análisis de laboratorio		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="3" style="padding: 2px;">resultado</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">25°C</td> <td style="padding: 2px;">1</td> <td style="padding: 2px;">atm</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 2px;">presión c.</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 2px;">(ug/m³)</td> </tr> </table>		resultado			25°C	1	atm	presión c.			(ug/m ³)		
resultado																						
25°C	1	atm																				
presión c.																						
(ug/m ³)																						
fecha	N° prueba	H .I	H. F	T.M (min)	CR(Q) LPM m ³ /min	Volum. m3	P.I mg	P.F mg	P.M mg													

Hora inicial (HI), hora final (HF), tiempo medido (T.M), caudal (Q), litros por minuto (LPM), peso inicial (PI), peso final (PF), peso medido (PM), concentración (C).

Fuente: DIGESA

3.4.2. Equipos de monitoreo

- a. **Muestreadores pasivos**, ofrecen un método simple y eficaz en función de los costos para realizar el sondeo de la calidad del aire en un área determinada. A través de la difusión molecular a un material absorbente para contaminantes específicos, se recoge una muestra integrada durante un determinado periodo (que generalmente varía entre una semana y un mes). Los bajos costos por unidad permiten muestrear en varios puntos del área de interés, lo cual sirve para identificar los lugares críticos donde hay una alta concentración de contaminantes, como las vías principales o las fuentes de emisión, y donde se deben realizar estudios más detallados. Para aprovechar al máximo esta técnica, se debe contar con un diseño cuidadoso del estudio y vigilar los procedimientos de aseguramiento y control de la calidad seguidos en el laboratorio durante el análisis de la muestra.

- b. **Muestreadores activos**, las muestras de contaminantes se recolectan por medios físicos o químicos para su posterior análisis en el laboratorio.; se bombea un volumen conocido de aire a través de un colector, como un filtro (muestreador activo manual) o una solución química (muestreador activo automático), durante un determinado periodo y luego se retira para el análisis. Los sistemas de muestreo para gases, el acondicionamiento de muestras, los sistemas de ponderación para el material particulado y los procedimientos de laboratorio son factores clave que influyen en la calidad de los datos finales.

- c. Analizadores automáticos,** proporcionan mediciones de alta resolución, en un único punto para varios contaminantes criterio (SO_2 , NO_2 , CO, MP). La muestra se analiza en línea y en tiempo real, generalmente a través de métodos electro ópticos: absorción de UV o IR; la fluorescencia y la quimioluminiscencia son principios comunes de detección. Para asegurar la calidad de los datos de los analizadores automáticos, es necesario contar con procedimientos adecuados para el mantenimiento, la operación, el aseguramiento y control de calidad.
- d. Sensores remotos,** son instrumentos desarrollados recientemente, usa técnica espectroscópica de larga trayectoria para medir las concentraciones de varios contaminantes en tiempo real. Los datos se obtienen mediante la integración entre el detector y una fuente de luz a lo largo de una ruta determinada. Los sistemas de monitoreo de larga trayectoria pueden cumplir un papel importante en diferentes situaciones de monitoreo, principalmente cerca de las fuentes. Para obtener datos significativos con estos sistemas, es necesario contar con procedimientos adecuados para la operación, calibración y manejo de datos.

3.4.3. Calibración de los equipos

- a.** Calibración de flujos, la concentración de gases medida en los monitores continuos considera que el flujo de muestra de gas aspirado por el monitor en la cámara de reacción se mantiene constante en el valor de operación fijado. Luego, la calibración de flujos consiste en verificar que el flujo aire aspirado por el monitor (en general entre 0.5 y 1.0 L/min en

monitores automáticos de gases) se encuentre en los rangos de operación recomendados por el fabricante.

- b. Calibración de señales analógicas, las concentraciones obtenidas en los monitores son expresadas en las salidas analógicas de éstos en rangos de voltaje, por ejemplo el rango 0 y 1 V puede ser equivalente a un rango 0 a 1000 ppb (o mg/m^3) en concentraciones, variando linealmente en el tramo; mediante el uso de medidores de volumen o probador digital (lecturas con más de 3 decimales), ajustar la escala de voltaje según indicación del manual de operación.
- c. La calibración de instrumentos ha de tener trazabilidad con patrones de laboratorio acreditado, calibrados con un patrón de mayor precisión por un organismo oficial certificado.

Criterio de inclusión

Se determinó la calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao, de los contaminantes, material particulado menor a 10 micras PM10, material particulado menor a 2.5 micras PM2.5, partículas totales en suspensión PTS, dióxido de azufre SO₂ y dióxido de nitrógeno NO₂.

Criterio de exclusión

Se excluyó de la determinación de la calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao, el contaminante plomo, solventes industriales, ozono, monóxido de carbono, ruido y otros agentes contaminantes.

3.4.4. Técnica de recolección de datos

Hernández, R: Fernández C; Baptista, P (2003) la recolección de datos implica tres niveles:

- Seleccionar un instrumento o método de recolección de los datos, el cual debe ser válido o confiable.
- Aplicar ese instrumento o método para recolectar datos; es decir, obtener los registros, resultados y mediciones, las cuales son de vital interés e importancia en la realización del estudio.
- Preparar observaciones, registros y mediciones obtenidas, para que se analicen correctamente.

El presente trabajo de investigación es de tipo cualitativo, por lo tanto el propósito que se perseguirá es la búsqueda y obtención de información relacionada con aspectos como criterios de selección de personal, perfiles de selección y competencias. Las fuentes de información que se emplearán son:

Fuentes de datos primeros

- Registro de datos de DIGESA

Fuente de datos secundarios

- Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI, Ministerio de Salud - MINSA, Ministerio de Energía y Minas.

CAPITULO IV PROCESO DE CONTRASTE

4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Métodos de análisis

- a. Método de muestreo y análisis de partículas menores a 10 micrones (PM_{10}), partículas menores a 2.5 micrones ($PM_{2.5}$) y partículas totales en suspensión PTS.
- b. Método de Referencia Activo de la EPA. Capítulo N°1, CFR 40 Parte 50 Apéndice J. Se determinó partículas en suspensión PM_{10} Y $PM_{2.5}$, bajo el principio de funcionamiento similar al del muestreador de partículas totales en suspensión, con excepción que trabaja sólo a 5 L/min y está diseñado para seleccionar y capturar únicamente las partículas menores a 10 o 2.5 micrones.
- c. Método de muestreo y análisis de dióxido de azufre (SO_2)
- d. Método de Muestreo Activo presentado por Thorin NILU, 1977; ISO 4221, 1983/1990, se determinó por absorción del gas en solución de captación de peróxido de hidrógeno a razón de flujo de 2.3 a 2.5 litros por minuto, en un período de muestreo de 24 horas. El análisis químico se efectuó por turbidimetría, los resultados en microgramos por metro cúbico (ug/m^3).
- e. Método de muestreo y análisis de dióxido de nitrógeno (NO_2)

- f. Método de Referencia Activo de la EPA. Capítulo N°1, CFR 40 Parte 53, Apéndice F. Se determinó por el método del Arsenito de sodio. Las muestras de aire contaminado son atrapadas en una solución de arsenito de sodio mas hidróxido de sodio, a razón de flujo de 0.2 a 0.3 litros por minuto, por períodos usuales de muestreo de 24 horas. El análisis se efectuó por Colorimetría, los resultados en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Validación de la información

Antes que los datos sean aceptados en la base de datos final, los datos erróneos deben ser filtrados. Este proceso de validación es vital para maximizar la integridad de los datos. Depende del método de monitoreo del equipo de medición utilizado, la validación por sistemas de análisis de datos programados.

4.1.2. Verificación de indicadores técnicos para la medición de las Variables

Variable independiente PM 10 (partículas menores a 10 micras)

PM 2.5 (partículas menores a 2.5 micras)

PTS (partículas totales en suspensión)

Dióxido de azufre

Dióxido de nitrógeno

Variable dependiente

Calidad del aire

Cuadro 17. Operacionalización de variables


Variables	Sub-variables	Índice	
Variable independiente		Concentración	
Concentración de partículas	Partículas menos a 10 micras (PM10)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Partículas menor a 2.5 micras (PM2.5)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Partículas totales en suspensión (PTS)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Concentración de gases	Concentración de SO_2	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Concentración de NO_2	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Variable dependiente	Sub variable	categoría	color
Calidad del aire	Índice de calidad de aire	Bueno	verde
		Regular	Amarillo
		Malo	naranja
		Insalubre	Rojo
		peligroso	morado

Fuente: Elaborado por el propio investigador

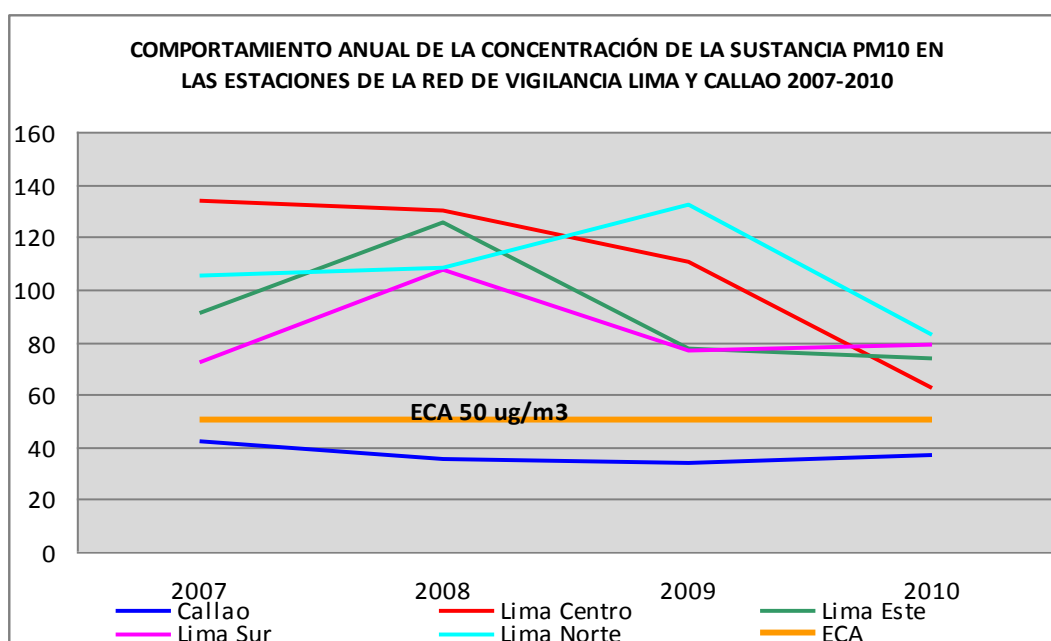
4.1.3. Análisis descriptivo de los resultados

a. Partículas menores a 10 Micras (PM₁₀)

Cuadro 18. Material Particulado menor a 10 micras de la Zona Urbana de Lima y Callao, 2007- 2010

Estación de monitoreo	ECA	Periodo de estudio en años				promedio	%
	μ/m3						
		2007	2008	2009	2010	(X)	
Callao	50	41.72	35.49	33.80	36.73	36.93	74%
Lima Centro	50	133.6	130.04	110.1	62.2	108.97	218%
Lima Este	50	90.98	125.29	77.62	73.82	91.93	184%
Lima Sur	50	72.25	107.6	76.98	78.73	83.89	168%
Lima Norte	50	104.84	107.8	132.32	82.64	106.90	214%

Fuente. MINSA-DIGESA



Cuadro 19. Calidad del aire por la contaminación de partículas menores o iguales a 10 micras pm 10, de la zona urbana de lima y callao, durante el periodo de 2007 – 2010

ESTACIÓN DE MONITOREO	PROMEDIO	ÍNDICE DE CALIDAD	CALIFICACIÓN	COLOR DE RIESGO
Callao	36.93	51-100	regular	amarillo
Lima Centro	108.97	201- 300	insalubre	rojo
Lima Este	91.93	101 - 200	mala	naranja
Lima Sur	83.89	101 - 200	mala	naranja
Lima Norte	106.90	201 - 300	insalubre	rojo

Fuente: Elaborado por el propio investigador

Los niveles de concentración de partículas menores o igual a PM 10 en la estación de muestreo del Callao, tiene un promedio de 36.93 ug/m³ durante el periodo de estudio realizado desde 2007 a 2010, cuyos valores se encuentran por debajo del ECA establecido en 50 ug/m³.

Los niveles de concentración de partículas menores o igual a 10 micras PM10 en la estación de muestreo de Lima Centro, tiene un valor de 108.97 ug/m³, que supera en un 217.94% de la ECA establecido, estos valores son perjudiciales para la salud de la población y el medio ambiente.

Los niveles de concentración de partículas menor o igual a 10 micras PM10 en la estación de muestreo de Lima Este, tiene un valor de 91.93 ug/m³, que supera en un 183.86 % de la ECA establecido, estos valores son

perjudiciales para la salud de la población y el medio ambiente, así mismo para los monumentos históricos.

Los niveles de concentración de partículas menores o igual a 10 micras PM10 en la estación de muestreo de Lima Sur, tiene un valor de 83.89 ug/m³, que supera en un 167.78 % de la ECA establecido, estos valores son perjudiciales para la salud de la población y el medio ambiente, así mismo para los monumentos históricos.

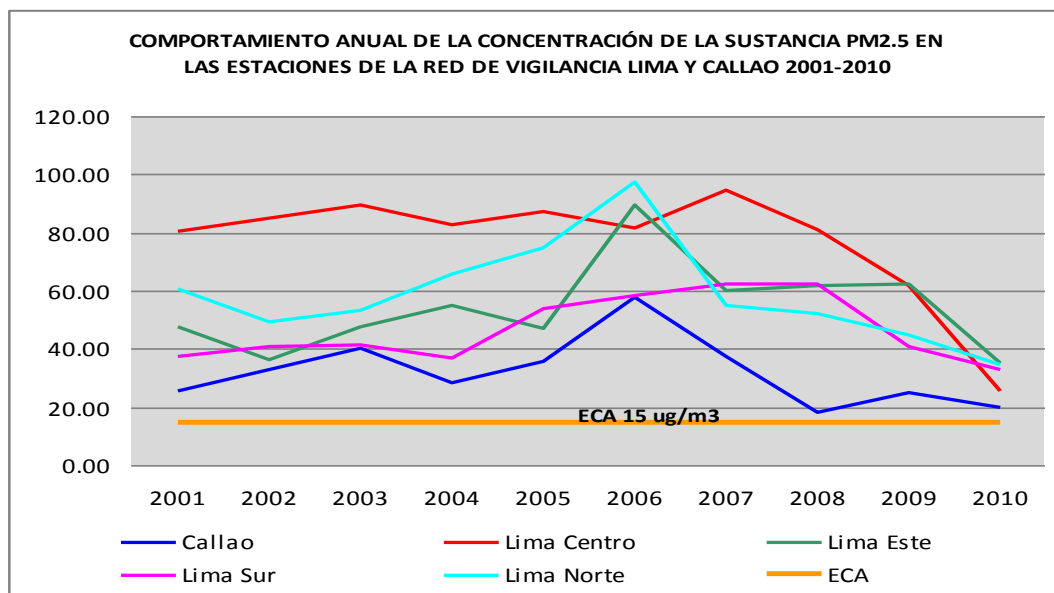
Los niveles de concentración de partículas menor o igual a 10 micras PM10 en la estación de muestreo de Lima Norte, tiene un valor de 106.90 ug/m³, que supera en un 213.80 % de la ECA establecido, estos valores son perjudiciales para la salud de la población y el medio ambiente, así mismo para los monumentos históricos.

Las concentraciones promedio anual de Partículas menores a 10 micras (PM 10) durante los años del 2007 a 2010, en las estaciones de monitoreo de Lima Centro, Lima Este, Lima Su y Lima Norte exceden el estándar de Calidad Ambiental del Aire establecido en 50 ug/m³ anual, representa un riesgo significativo para la salud de las personas y el ambiente; a excepción de la zona urbana del Callao que muestra un valor por debajo de la ECA nacional; como se observa en el siguiente cuadro.

b. Material Particulado menor o igual a 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM-2.5)

Cuadro 20. Material Particulado menor a 2,5 micras PM2.5 de Lima y Callao, 2001- 2010

Estación de monitoreo	ECA	Periodo de estudio en años										promedio	%
	μ/m3												
	15	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	(X)	
Callao	15	25.44	32.74	40.04	28.15	35.62	57.54	37.14	17.89	24.92	19.64	31.91	213%
Lima Centro	15	80.18	84.75	89.31	82.38	86.97	81.48	94.31	80.99	61.69	25.6	76.77	512%
Lima Este	15	47.64	36.25	47.60	54.84	46.77	89.38	59.72	61.73	62.46	35.18	54.16	361%
Lima Sur	15	37.16	40.99	41.40	37.06	53.52	58.23	62.54	62.20	40.90	32.91	46.69	311%
Lima Norte	15	60.74	49.13	53.27	65.45	74.56	97.40	54.72	52.03	44.60	34.55	58.64	391%



Fuente. MINSA – DIGESA

Cuadro 21. Calidad del aire por la contaminación de partículas menores o igual a pm 2.5 de la zona urbana de Lima y Callao, periodo de 20001-2010.

ESTACIÓN DE MONITOREO	PROMEDIO	ÍNDICE DE CALIDAD	CALIFICACIÓN	COLOR DE RIESGO
Callao	31.91	201- 300	Insalubre	Rojo
Lima Centro	76.77	> 300	Peligrosos	Morado
Lima Este	54.16	> 300	Peligrosos	Morado
Lima Sur	46.16	> 300	Peligrosos	Morado
Lima Norte	58.64	> 300	Peligrosos	Morado

Fuente. Elaborado por el propio investigador- 2010.

Los niveles de concentración de partículas menor o igual a 2.5 micras PM2.5 en la estación de muestreo del Callao, tiene un valor de 31.91ug/m³, que supera en un 212.93 % de la ECA establecido, estos valores son perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente, así mismo para los monumentos históricos.

Los niveles de concentración de partículas menor o igual a 2.5 micras PM2.5 en la estación de muestreo de Lima Centro, tiene un valor de 76.77 ug/m³, que supera en un 511.80 % de la ECA establecido, estos valores son perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente, así mismo para los monumentos históricos.

Los niveles de concentración de partículas menor o igual a 2.5 micras PM2.5 en la estación de muestreo de Lima Este, tiene un valor de 54.16 ug/m³, que supera en un 361.06 % de la ECA establecido, estos valores son perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente,

así mismo para los monumentos históricos.

Los niveles de concentración de partículas menor o igual a 2.5 micras PM_{2.5} en la estación de muestreo de Lima Sur, tiene un valor de 46.69 ug/m³, que supera en un 311.26 % de la ECA establecido, estos valores son perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente, así mismo para los monumentos históricos.

Los niveles de concentración de partículas menor o igual a 2.5 micras PM_{2.5} en la estación de muestreo de Lima Norte, tiene un valor de 58.64 ug/m³, que supera en un 390.93 % de la ECA establecido, estos valores son perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente, así mismo para los monumentos históricos.

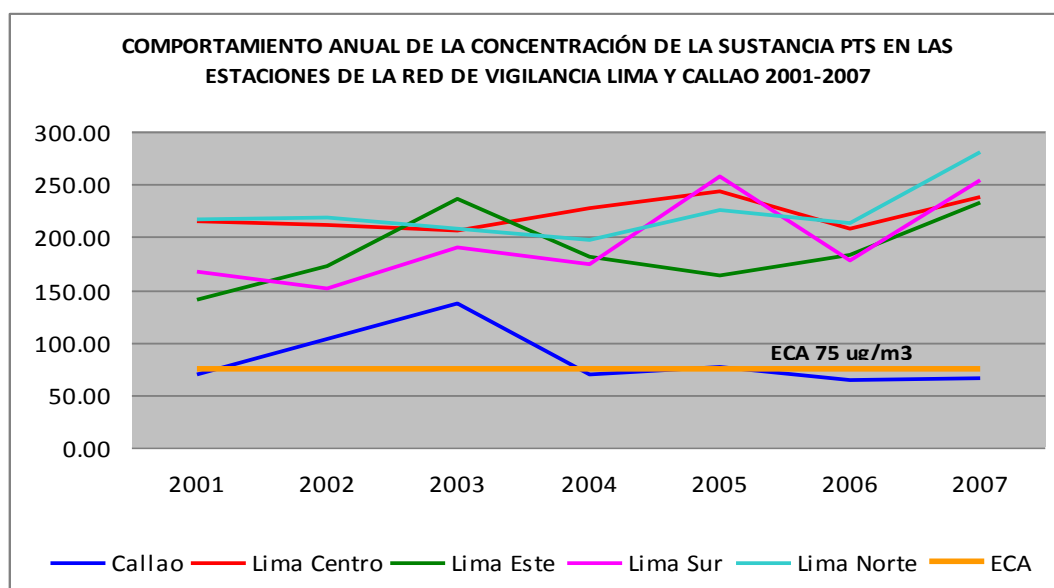
Las concentraciones anuales de la sustancia PM-2,5 en las estaciones de Lima y Callao superan el nivel de concentración máximo permitido (el valor referencial es de 15 ug/m³); esta sustancia representa riesgo significativo para la salud de las personas y el ambiente; se puede apreciar que los valores más elevados se encontraron en la estación ubicada en Lima Centro

La Contaminación en Lima ha mostrado un considerable descenso; sin embargo los valores son altos con referencia al ECA; los polvos menores de 2.5 micras ingresan con mayor facilidad al aparato respiratorio, que puede causar enfermedades peligrosas para la salud.

c. Partículas totales en suspensión PTS

Cuadro 22. Partículas Totales es Suspensión PTS de Lima y Callao 2001-2007

Estación de monitoreo	ECA	Periodo de estudio en años							promedio (X)	%
	µ/m3	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
Callao	75	69.76	103.45	137.15	68.80	75.79	63.12	65.29	83.34	111%
Lima Centro	75	214.80	210.70	206.60	228.00	243.60	207.00	237.00	221.10	295%
Lima Este	75	140.35	172.07	236.90	181.27	163.98	182.08	232.76	187.06	249%
Lima Sur	75	166.15	150.19	189.38	173.69	257.29	177.12	253.60	195.35	260%
Lima Norte	75	216.65	219.08	207.83	196.58	224.67	213.68	279.99	222.64	297%



Cuadro 23. Calidad del aire por la contaminación de partículas totales en suspensión PTS, zona urbana de Lima y Callao, 2007 – 2010

ESTACIÓN DE MONITOREO	PROMEDIO	ÍNDICE DE CALIDAD	CALIFICACIÓN	COLOR DE RIESGO
Callao	83.34	101 – 200	mala	naranja
Lima Centro	221.10	201- 300	insalubre	rojo
Lima Este	187.06	201- 300	insalubre	rojo
Lima Sur	195.35	201- 300	insalubre	rojo
Lima Norte	222.64	201- 300	insalubre	rojo

Los niveles de partículas totales en suspensión PTS determinados en la estación de muestreo del Callao, tiene un valor de 83.34 ug/m³, que supera al ECA de 75 ug/m³ en un 111.12 %; estos valores son perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente, así mismo para los monumentos históricos.

Los niveles de partículas totales en suspensión PTS determinados en la estación de muestreo de Lima Centro, tiene un valor de 221.10 ug/m³, que supera al ECA de 75 ug/m³ en un 294.80 %; estos valores son perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente, así mismo para los monumentos históricos.

Los niveles de partículas totales en suspensión PTS determinados en la estación de muestreo de Lima Este, tiene un valor de 187.06 ug/m³, que supera al ECA de 75 ug/m³ en un 249.42 %; estos valores son perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente, así mismo para


los monumentos históricos.

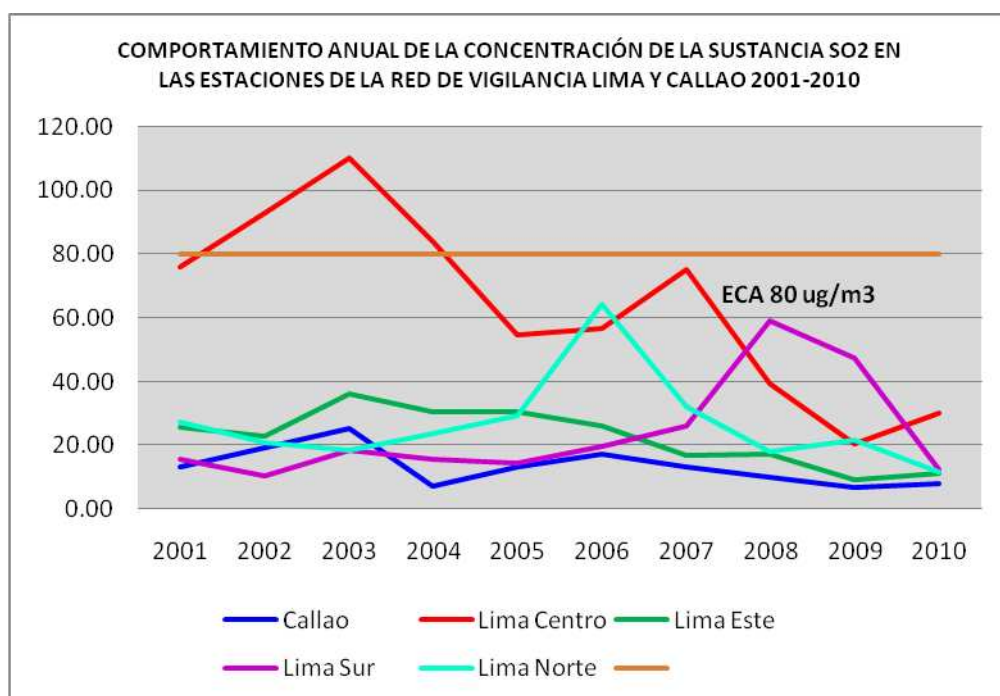
Los niveles de partículas totales en suspensión PTS determinados en la estación de muestreo de Lima Sur, tiene un valor de 195.35 ug/m³, que supera al ECA de 75 ug/m³ en un 260.46 %; estos valores son perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente, así mismo para los monumentos históricos.

Los niveles de partículas totales en suspensión PTS determinados en la estación de muestreo de Lima Norte, tiene un valor de 222.64 ug/m³, que supera al ECA de 75 ug/m³ en un 296.85 %; estos valores son perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente, así mismo para los monumentos históricos.

d. Dióxido de Azufre (SO₂)

Cuadro 24. Dióxido de azufre en la calidad de aire de Lima y Callao 2001 a 2010

Estación de monitoreo	ECA	Periodo de estudio en años										promedio	%
	μ/m3												
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	(X)	
Callao	80	13.25	19.27	25.29	7.18	13.12	17.32	13.32	10.09	6.80	8.00	13.36	17%
Lima Centro	80	75.83	92.96	110.1	83.94	54.52	56.55	75.18	39.34	20.28	30.00	63.87	80%
Lima Este	80	25.85	22.80	36.09	30.45	30.35	26.22	16.91	17.30	9.30	11.10	22.64	28%
Lima Sur	80	15.55	10.49	18.71	15.86	14.61	19.80	26.17	59.23	47.63	12.40	24.05	30%
Lima Norte	80	27.35	20.98	18.18	23.80	29.41	64.19	31.92	18.06	21.66	11.55	26.71	33%



Cuadro 25. Calidad del aire por la contaminación de dióxido de azufre, zona urbana de Lima y Callao, 2007 - 2010

ESTACIÓN DE MONITOREO	PROMEDIO	ÍNDICE DE CALIDAD	CALIFICACIÓN	COLOR DE RIESGO
Callao	13.36	0 - 50	bueno	VERDE
Lima Centro	63.87	51 -100	regular	AMARILLO
Lima Este	22.64	0 - 50	bueno	VERDE
Lima Sur	24.05	0 - 50	bueno	VERDE
Lima Norte	26.71	0 - 50	bueno	VERDE

La concentración de dióxido de azufre en la estación de muestreo del Callao, tiene un valor de 13.36 ug/m³, valores que se encuentran dentro del ECA de 80 ug/m³, no existe riesgo para la salud y el medio ambiente.

La concentración de dióxido de azufre en la estación de muestreo de Lima Centro, tiene un valor de 63.87 ug/m³, valores que se encuentran dentro del ECA de 80 ug/m³, no existe riesgo para la salud y el medio ambiente.


La concentración de dióxido de azufre en la estación de muestreo de Lima Este, tiene un valor de 22.64 ug/m³, valores que se encuentran dentro del ECA de 80 ug/m³, no existe riesgo para la salud y el medio ambiente.

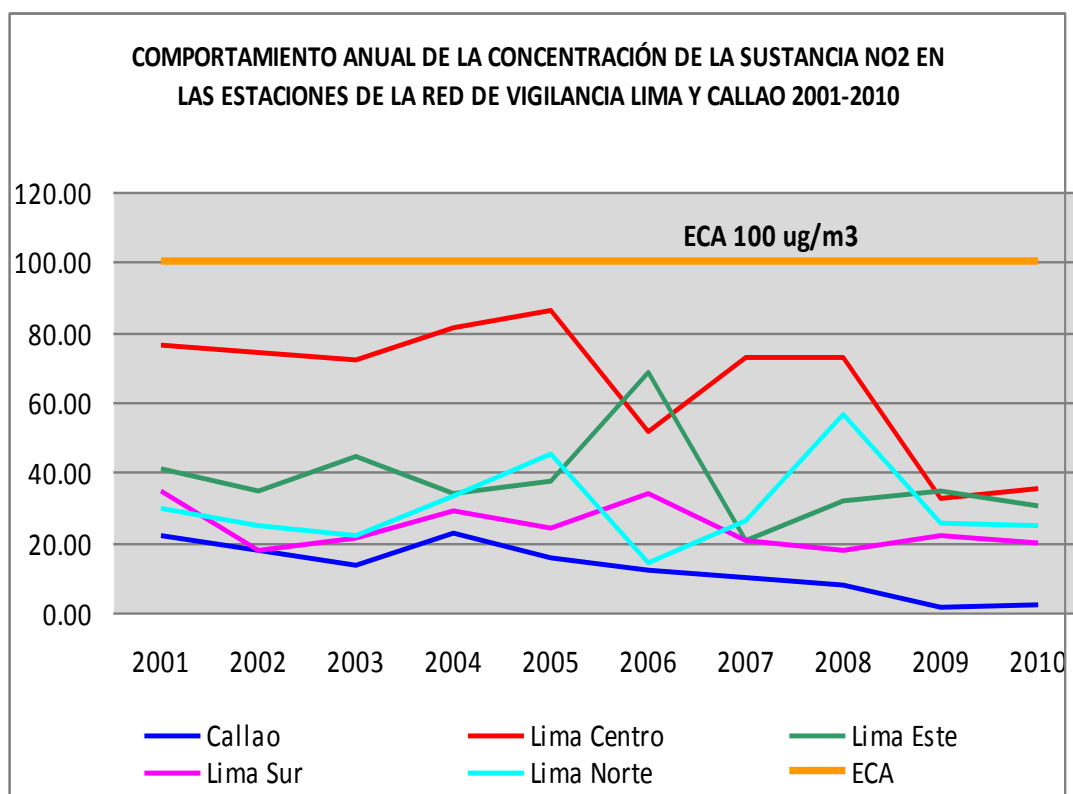
La concentración de dióxido de azufre en la estación de muestreo de Lima Sur, tiene un valor de 24.05 ug/m³, valores que se encuentran dentro de los valores del ECA de 80 ug/m³, no existe riesgo para la salud y el medio ambiente.

La concentración de dióxido de azufre en la estación de muestreo de Lima Norte, tiene un valor de 26.71 ug/m³, valores que se encuentran dentro de los valores del ECA de 80 ug/m³, no existe riesgo para la salud y el medio ambiente.

e. Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Cuadro 26. Dióxido de nitrógeno en la calidad del aire de Lima y Callao, 2001- 2010

Estación de monitoreo	ECA	Periodo de estudio en años										promedio	%
	µ/m3												
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	(X)	
Callao	100	21.89	17.80	13.71	22.70	15.25	12.02	10.15	7.94	1.26	1.90	12.46	12%
Lima Centro	100	75.9	73.95	72	81.3	85.8	51.7	72.7	72.4	32.8	35	65.36	65%
Lima Este	100	41.12	34.45	44.46	34.11	37.07	68.52	20.57	31.43	34.86	30.27	37.69	38%
Lima Sur	100	34.31	17.75	21.17	28.61	24.32	33.84	20.26	17.35	21.66	19.67	23.89	24%
Lima Norte	100	29.88	24.59	22.09	33.48	44.88	13.91	25.86	56.60	25.74	24.73	30.17	30%



Cuadro 27. Calidad del aire por la contaminación de dióxido de nitrógeno, zona urbana de Lima y Callao, 2007 - 2010

ESTACIÓN DE MONITOREO	PROMEDIO	ÍNDICE DE CALIDAD	CALIFICACIÓN	COLOR DE RIESGO
Callao	12.46	0 - 50	bueno	VERDE
Lima Centro	65.36	51 -100	regular	AMARILLO
Lima Este	37.69	0 - 50	bueno	VERDE
Lima Sur	23.89	0 - 50	bueno	VERDE
Lima Norte	30.17	0 - 50	bueno	VERDE

La concentración de dióxido de nitrógeno en la estación de muestreo del Callao, tiene un valor de 12.46 ug/m³, valores que se encuentran dentro de los valores del ECA de 100 ug/m³, no existe riesgo para la salud pública.

La concentración de dióxido de nitrógeno en la estación de muestreo de Lima Centro, tiene un valor de 65.36 ug/m³, valores que se encuentran dentro de los valores del ECA de 100 ug/m³, no existe riesgo para la salud pública.

La concentración de dióxido de nitrógeno en la estación de muestreo de Lima Este, tiene un valor de 37.69 ug/m³, valores que se encuentran dentro de los valores del ECA de 100 ug/m³, no existe riesgo para la salud pública.

La concentración de dióxido de nitrógeno en la estación de muestreo de Lima Sur, tiene un valor de 23.89 ug/m³,

valores que se encuentran dentro de los valores del ECA de 100 ug/m3, no existe riesgo para la salud pública.

La concentración de dióxido de nitrógeno en la estación de muestreo de Lima Norte, tiene un valor de 30.17 ug/m3, valores que se encuentran dentro de los valores del ECA de 100 ug/m3, no existe riesgo para la salud pública.

4.2. Procesos de prueba de hipótesis

a) Partículas menores a 10 Micras (PM₁₀)

Determinar que la concentración de partículas menores a 10 micras PM 10 en la calidad del aire en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2007 a 2010 no superen el LMP (100 ug/m3).

Planteamiento de la hipótesis

$$H_0 : \mu \leq 50 \text{ ug/m}^3$$

$$H_1 : \mu > 50 \text{ ug/m}^3$$

$$\alpha = 0.05$$

Estadística de prueba:

$$T_E = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Dónde:

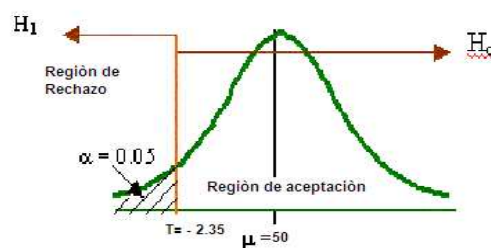
\bar{x} : Promedio anual de Partículas menores a 10 Micras por cada estación monitoreada.

μ : 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ECA nacional como promedio anual de concentración máxima de Partículas menores a 10 Micras
 $n=4$, tamaño de muestra.





Regla de decisión:

Si $T_{\alpha} \geq T_{\alpha}$ No se rechaza H_0

Si $T_{\alpha} < T_{\alpha}$ Se rechaza H_0



Cuadro 28. Concentración de Material Particulado $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menor o igual a 10 micras en Lima y Callao

Estación de monitoreo	ECA	Periodo de estudio en años				promedio			T 
	µ/m3								
		2007	2008	2009	2010	(X)			
Callao	50	41.72	35.49	33.80	36.73	36.93	3.41	-7.67	-2.35
Lima Centro	50	133.6	130.04	110.1	62.2	108.97	32.85	3.59	-2.35
Lima Este	50	90.98	125.29	77.62	73.82	91.93	23.43	3.58	-2.35
Lima Sur	50	72.25	107.6	76.98	78.73	83.89	16.05	4.22	-2.35
Lima Norte	50	104.84	107.8	132.32	82.64	106.90	20.33	5.60	-2.35

Fuente: MINSA-DIGESA

En la Estación del Callao se rechaza H_0 . Entonces Con un nivel de significancia de 0.05 la concentración de partículas menores a 10 micras PM 10 en la calidad del aire es menor a 50 ug/m3. Esto quiere decir que PM10 en el Callao no representa riesgo significativo para la salud y el ambiente.

Mientras que en las demás estaciones no se ha encontrado evidencia suficiente para rechazar H_0 . Esto quiere decir que PM10 en estas estaciones pueden representar riesgo significativo para la salud y el ambiente

b) Material Particulado menor o igual a 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM-2.5)

Determinar que la concentración del material particulado PM 2.5 en la calidad del aire en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2010 no superen el LMP (15 ug/m3).

Planteamiento de la hipótesis

$$H_0 : \mu \geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$H_1 : \mu < 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\alpha = 0.05$$

Estadística de prueba:

$$T_{\bar{x}} = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Dónde:

\bar{X} : Promedio anual de Material Particulado menor o igual a 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por cada estación monitoreada.

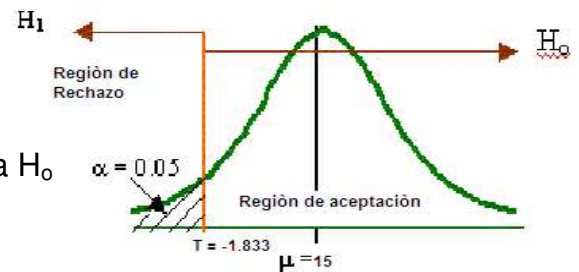
μ : 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ECA nacional como promedio anual de concentración máxima de de Material Particulado menor o igual a 2.5 Micras

$n = 10$, tamaño de muestra.

Regla de decisión:

Si $T_{\bar{x}} \geq T_{\alpha}$ No se rechaza H_0

Si $T_{\bar{x}} < T_{\alpha}$ Se rechaza H_0



Cuadro 29. Concentración de Material Particulado menor o igual a 2,5 micras PM-2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de Lima y Callao

Estación de monitoreo	ECA	Periodo de estudio en años										promedio (X)	LMP	Dif. LMP	T _{lim}
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010				
Callao	15	25.44	32.74	40.04	28.15	35.62	57.54	37.14	17.89	24.92	19.64	31.91	11.627	4.60	-1.83
Lima Centro	15	80.18	84.75	89.31	82.38	86.97	81.48	94.31	80.99	61.69	25.6	76.77	19.89	9.82	-1.83
Lima Este	15	47.64	36.25	47.60	54.84	46.77	89.38	59.72	61.73	62.46	35.18	54.16	15.70	7.89	-1.83
Lima Sur	15	37.16	40.99	41.40	37.06	53.52	58.23	62.54	62.20	40.90	32.91	46.69	11.25	8.91	-1.83
Lima Norte	15	60.74	49.13	53.27	65.45	74.56	97.40	54.72	52.03	44.60	34.55	58.64	17.52	7.88	-1.83

Fuente: MINSA-DIGESA

No se ha encontrado evidencia suficiente para rechazar H_0 . Con un nivel de significancia de 0.05 la concentración de PM_{2.5} en la calidad del aire excede a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto quiere decir que el PM_{2.5} puede representar riesgo significativo para la salud y el ambiente

c) Particulares Totales en suspensión (PTS)

Determinar que la concentración de Partículas Totales en Suspensión PTS en la calidad del aire en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2007 no superen el LMP (75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Planteamiento de la hipótesis

$$H_0 : \mu \geq 75 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$H_1 : \mu < 75 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\alpha = 0.05$$

Estadística de prueba:

$$T_R = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Dónde:

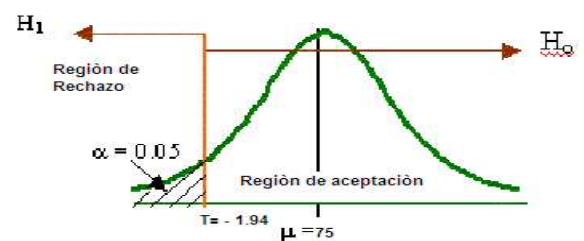
\bar{X} : Promedio anual de Particulares Totales en suspensión por cada estación monitoreada.

μ : 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ECA nacional como promedio anual de concentración máxima de de Particulares Totales en suspensión.
 $n = 7$, tamaño de muestra.

Regla de decisión:

Si $T_R \geq T_{\alpha}$ No se rechaza H_0

Si $T_R < T_{\alpha}$ Se rechaza H_0



Cuadro 30. Concentración de Particulares Totales en suspensión ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Lima y Callao, 2001- 2007

Estación de monitoreo	ECA	Periodo de estudio en años							Prom.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$T_{\text{m}}^{\text{m}}/^\circ\text{C}$
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	(X)			
Callao	75	69.76	103.45	137.15	68.80	75.79	63.12	65.29	83.34	27.35	0.81	-1.94
Lima Centro	75	214.80	210.70	206.60	228.00	243.60	207.00	237.00	221.10	15.08	25.64	-1.94
Lima Este	75	140.35	172.07	236.90	181.27	163.98	182.08	232.76	187.06	35.52	8.35	-1.94
Lima Sur	75	166.15	150.19	189.38	173.69	257.29	177.12	253.60	195.35	42.74	7.45	-1.94
Lima Norte	75	216.65	219.08	207.83	196.58	224.67	213.68	279.99	222.64	26.83	14.56	-1.94

Fuente: MINSA-DIGESA

d) Dióxido de Azufre (SO_2)

Determinar que la concentración del dióxido de azufre en la calidad del aire en las estaciones de monitoreo. En Callao, CONACO, Hipólito Unanue, María Auxiliadora, Sta. Luzmila, durante el periodo de 2001 a 2010 no superen el LMP ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Planteamiento de la hipótesis

$$H_0 : \mu \leq 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$H_1 : \mu > 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\alpha = 0.05$$

Estadística de prueba:

$$T_{\text{E}} = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Dónde:

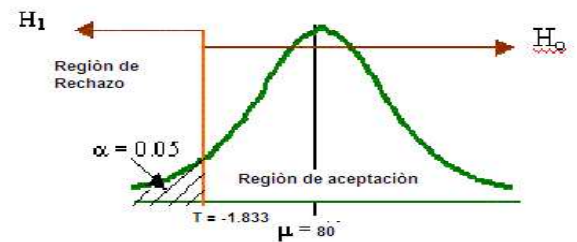
\bar{X} : Promedio anual de Dióxido de Azufre por cada estación monitoreada.

μ : 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ECA nacional como promedio anual de concentración máxima de Dióxido de Azufre.

Regla de decisión:

Si $T_{\text{E}} \geq T_{\alpha}$ No se rechaza H_0

Si $T_{\text{E}} < T_{\alpha}$ Se rechaza H_0



Cuadro 31. Concentración de Dióxido de azufre (μm^3) Lima y Callao 2001 a 2010

Estación de monitoreo	ECA	Periodo de estudio en años										promedio	T _{max}	T _{min}	T _{prom}
	μm^3	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	(X)			
Callao	80	13.25	19.27	25.29	7.18	13.12	17.32	13.32	10.09	6.80	8.00	13.36	5.90	-35.70	-1.83
Lima Centro	80	75.83	92.96	110.1	83.94	54.52	56.55	75.18	39.34	20.28	30.00	63.87	28.76	-1.77	-1.83
Lima Este	80	25.85	22.80	36.09	30.45	30.35	26.22	16.91	17.30	9.30	11.10	22.64	8.80	-20.61	-1.83
Lima Sur	80	15.55	10.49	18.71	15.86	14.61	19.80	26.17	59.23	47.63	12.40	24.05	16.30	-10.85	-1.83
Lima Norte	80	27.35	20.98	18.18	23.80	29.41	64.19	31.92	18.06	21.66	11.55	26.71	14.47	-11.65	-1.83

Fuente: MINSA-DIGESA

En la estación de Lima Centro no se ha encontrado evidencia suficiente para rechazar H_0 . Con un nivel de significancia de 0.05 la concentración de SO_2 en la calidad del aire excede a 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto quiere decir que el SO_2 puede representar riesgo significativo para la salud y el ambiente

Sin embargo en las demás estaciones se rechaza H_0 . Con un nivel de significancia de 0.05 la concentración del SO_2 en la calidad del aire es menor a 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto quiere decir que la concentración de SO_2 no representa riesgo significativo para la salud y el ambiente.

e) Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

Determinar la concentración de dióxido de nitrógeno en la calidad del aire en las estaciones de monitoreo de Callao, Lima Centro, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte, durante el periodo de 2001 a 2010 no superen el LMP (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Planteamiento de la hipótesis

$$H_0: \mu \geq 100 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$H_1: \mu < 100 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\alpha = 0.05$$

Estadística de prueba:

$$T_n = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Dónde:

\bar{X} : Promedio anual de Dióxido de Nitrógeno por cada estación monitoreada.

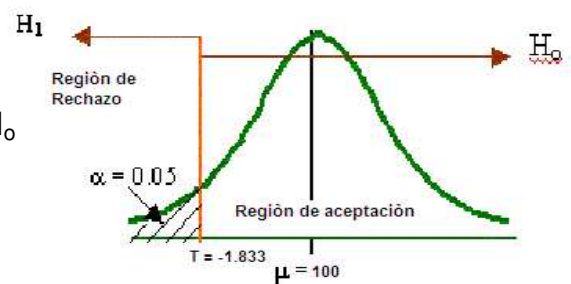
μ : 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ECA nacional como promedio anual de concentración máxima de Dióxido de Nitrógeno.

$n = 10$, Tamaño de muestra.

Regla de decisión:

Si $T_n \geq T_{\alpha}$ No se rechaza H_0

Si $T_n < T_{\alpha}$ Se rechaza H_0



Cuadro 32. Concentración de Dióxido de nitrógeno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Lima y Callao, 2001- 2010

Estación de monitoreo	ECA	Periodo de estudio en años										promedio (X)	T _{max}	T _{min}	T _{prom}
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010				
Callao	100	21.89	17.80	13.71	22.70	15.25	12.02	10.15	7.94	1.26	1.90	12.46	7.41	-37.35	1.83
Lima Centro	100	75.9	73.95	72	81.3	85.8	51.7	72.7	72.4	32.8	35	65.36	18.78	-5.84	1.83
Lima Este	100	41.12	34.45	44.46	34.11	37.07	68.52	20.57	31.43	34.86	30.27	37.69	12.59	-15.65	1.83
Lima Sur	100	34.31	17.75	21.17	28.61	24.32	33.84	20.26	17.35	21.66	19.67	23.89	6.27	-38.39	1.83
Lima Norte	100	29.88	24.59	22.09	33.48	44.88	13.91	25.86	56.60	25.74	24.73	30.17	12.27	-18.00	1.83

Fuente: MINSA-DIGESA

Se rechaza H_0 . Con un nivel de significancia de 0.05 la concentración del dióxido de nitrógeno en la calidad del aire es menor a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto quiere decir que la concentración de dióxido de nitrógeno no representa riesgo significativo para la salud y el ambiente.

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. Análisis de Resultados – Material Particulado - PM 10

Material particulado respirable (PM10), comprende las partículas con diámetro aerodinámico menor a $10 \mu\text{m}$., representa una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas, partículas que penetran a lo largo de todo el sistema respiratorio hasta los pulmones, causando irritaciones.

Se denomina PM10 a pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro es menor que 10 μm (1 micrómetro corresponde la milésima parte de 1 milímetro). Están formadas principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbono (hollín).

Las fuentes de PM10 son la combustión en los automóviles, los humos y los desechos producidos por la industria, la construcción y el comercio.

Las PM10 al ser inhaladas pueden penetrar con facilidad el sistema respiratorio, causando efectos adversos a la salud respiratoria; siendo los más dañinos los metales pesados y compuestos orgánicos que pueden causar cáncer).

Las PM10 causan enfermedades respiratorias de tipo cardiovascular, y cáncer de pulmón; la exposición a partículas en suspensión puede reducir la esperanza de vida en dos años. Los efectos a la salud pueden ser tos, dificultad para respirar, agravado del asma, disminución de la función del pulmón y enfermedades respiratorias, muerte prematura en individuos con enfermedades cardiovasculares

En el Callao, según el estudio tiene un nivel de regular, pero en la zona urbana de Lima Centro y Lima Norte la calificación de la calidad del aire arrojó un índice de insalubre, que debe ser preocupante para las autoridades sanitarias, así mismo para las autoridades de los gobiernos central y gobiernos locales, porque estos resultados van en contra de la salud de la población; pero el índice de la calidad del aire en las zonas urbanas de Lima Este y Lima Sur las determinaciones fueron

de mala calidad, que también es de preocupación para los habitantes de estas zonas pobladas, como se muestra en el cuadro N° 32.

4.3.2. Análisis de Resultados – Material Particulado – PM 2.5

Las partículas pequeñas son menores a 2.5 micrómetros (100 veces más delgadas que un cabello humano),

Las partículas PM2.5 pueden permanecer en el aire por días o semanas, pueden viajar más lejos tanto como cientos de millas, las partículas que se encuentre en el aire, ingresan profundamente al sistema respiratorio

Los consultorios de los hospitales de Lima se encuentran saturados de pacientes para el tratamiento de enfermedades respiratorias agudas y crónicas, en ESSALUD, se demora para obtener una cita médica de consulta ambulatoria con una antigüedad de un mes a tres meses de anticipación.

Se observa en Lima y el Callao que circulan libremente por las calles los carros que botan humos asfixiantes, con alto contenido de partículas en suspensión, que van directamente a los pulmones de los limeños y transeúntes personas que respiran. A pesar de las revisiones técnicas, estos carros salen especialmente los sábados y domingos por las calles, debido a la escasa y debilitada autoridad edil y del Gobierno Central para el control de estos carros que tanto daño hacen a la salud de la población expuesta.

Las Naciones Unidas revelan que las personas más pobres, los niños y habitantes del tercer mundo tienen mayor índice de riesgo de exposición; las partículas de polvo, hollín partículas

líquidas producidas por la condensación de vapores; menores de 2,5 micrómetros de diámetro, son las más riesgosas, tienen mayor probabilidad de ingresar a los pulmones.

Las partículas en suspensión a PM-2,5 han superado 2 veces en el año de 2008 y 3 veces en el año de 2009, lo que representan un riesgo significativo para la salud de las personas y el ambiente. Las concentraciones anuales de la sustancia PM-2,5 en las estaciones de Lima y Callao superan el nivel de concentración máximo permitido (el valor referencial es de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$); esta sustancia representa riesgo significativo para la salud de las personas y el ambiente; se puede apreciar que los valores más elevados se encontraron en la estación ubicada en Lima Centro.

La Contaminación en Lima ha mostrado un considerable descenso; sin embargo los valores son altos con referencia al ECA; los polvos menores de 2.5 micras ingresan con mayor facilidad al aparato respiratorio.

Los contaminantes del aire pueden causar resequedad de la mucosa, irritación y comezón de la piel, enfermedades respiratorias, vasculares y cardíacas, reducción de la capacidad de la sangre de transportar sustancias nutritivas y oxígeno al organismo, trastornos digestivos, problemas en huesos y dientes por fluoruros, asma, bronquitis, aumento de la frecuencia de cáncer bronquial y enfisema pulmonar, problemas cardiovasculares, como trombosis; además irrita los ojos, debido a la presencia de ozono en el aire y partículas de polvo en suspensión.

SILVA José, MONTOYA Zarela (2004). La concentración media de polvo atmosférico para el año 2004 fue de $0,3 \text{ t}/\text{km}^2/\text{mes}$, el 84% de las estaciones superaron el valor del límite permisible

de la Organización Mundial de la Salud equivalente a 5 t/km²/mes.

La geográfica accidentada en los alrededores de Lima Metropolitana y la costumbre de que la mayoría de los emigrantes de las provincias se ubican en los asentamientos humanos, en las faldas de los cerros, son los más que se afectan debido a que las partículas más pequeñas que se elevan a la atmosfera son depositadas en estas zona. Siendo las familias con escasos recursos más vulnerables de contaminación.

ARAGÓN A. *et. al* (2006). Indica que la influencia de los vientos y el clima semidesértico de la ciudad de San Luis de Potosí-México, favorecen la suspensión de partículas en el aire en la Zona Industrial y el tránsito vehicular, se halló partículas totales en suspensión (PST) con una media aritmética anual de 483µg/m³; el límite máximo permitido es de 90 µg/m³; y la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció 75 µg/m³.

CABRERA, C. *et. Al.* relaciona la calidad del aire y calidad de vida, y determinó que el parque automotor de Lima es de 720,000 vehículos de pasajeros con 15 años de antigüedad, con capacidad menor de 15 pasajeros, que circulan por la vía pública, causando la contaminación atmosférica en partículas en suspensión, polvos, dióxido de azufre, plomo. Asimismo, indica que el índice de calidad ambiental y calidad de vida. Mediante la evaluación de indicadores y matrices cuadráticas; partículas menores a 10 micras (PM-10), SO₂, plomo en PM 10, sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La instalación de altas chimeneas industriales no reduce la cantidad de contaminantes, simplemente los emiten a mayor altura y reducen su concentración en el lugar, los contaminantes son transportados a grandes distancias y causan efectos adversos para la salud en áreas muy alejadas del lugar de la emisión. Las emisiones de dióxido de azufre y la subsiguiente formación de ácido sulfúrico pueden ser responsables del ataque sufrido a las calizas y mármol a grandes distancias.

La ubicación del Callao favorece para su calidad del aire, porque la corriente del aire transporte las partículas contaminantes hacia la zona este y norte de Lima, específicamente los contaminantes se concentran en la zona Norte de Lima, en los distritos de Comas y Carabayllo.

La Municipalidad del Callao a través de la Dirección General Protección Ambiental desde 1997 hasta 2001 realizó seguimiento a 236 empresas para una certificación ambiental; determinó dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos, vapores de solventes, partículas de cobre, de zinc, de plomo, hidróxido de calcio, Partículas Totales en Suspensión, partículas menores a 10 micras; las empresas hacen tratamiento de las emisiones atmosféricas con vaporización, ciclones, mangas de tela, lavado, filtros para polvos y neutralización.

4.3.3. Análisis de Resultados – Partículas totales en suspensión - PTS

EPA de los EE.UU. reemplazado PTS como indicador, tanto para el año y 24 horas primario relacionado con la salud. El indicador incluye sólo aquellas partículas con un diámetro aerodinámico menor o igual a un valor nominal de diez micras

(PM 10 - Partículas de 10 micras o menos). La exposición a las partículas PM 10, que se conservan en los pulmones, puede causar problemas de salud.

4.3.4. Análisis de Resultados – Efectos en la Salud

Más del 99% de las partículas inhalada o es exhalado o atrapada en las partes altas de las vías respiratorias y la expulsión. El balance de entrar por la tráquea y los pulmones, donde algunas partículas, conocidas como partículas inhalables, se adhieren a la mucosa protectora y se retiran. Otros mecanismos, como la tos, también filtrar o eliminar las partículas. En conjunto, estos "pulmonar liquidación" mecanismos de protección de los pulmones de la mayoría de las partículas inhalables.

Algunas de las partículas más pequeñas, llamadas partículas respirables, se alojan en los capilares pulmonares y los alvéolos, causando los siguientes efectos:

Frenar el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre, causando falta de aliento.

Esfuerzo del corazón, ya que deben trabajar más para compensar la pérdida de oxígeno.

Las personas más sensibles a estas condiciones se incluyen aquellos con problemas del corazón, o enfermedades respiratorias como el enfisema, la bronquitis y el asma.

Los efectos adversos para la salud de la exposición de material particulado a menudo no se notaron de inmediato. Las partículas pueden acumularse en los pulmones después de repetidos, exposición a largo plazo que causa problemas

respiratorios y otros problemas de salud.

Algunas partículas se pueden ser tóxicas si se inhala o se absorbe, y puede causar daño a órganos a distancia como los riñones o el hígado. Mucosas ingestión cargado de partículas venenosas también pueden dañar el sistema gastrointestinal.

Olores irritantes a menudo se asocian a partículas. Algunos ejemplos de fuentes son la gasolina y tubos de escape de motores diesel, a gran escala de café tostado, de pulverización de pintura, pavimentación de calles y la quema de basura.

DIGESA registró datos de campo de monitoreo de PTS hasta 2007, el aire es de mala calidad en el Callao, mientras que en las estaciones de monitoreo de Lima Centro, Lima Este, Lima Sur y Lima Norte la calidad del aire es insalubre.

4.3.5. Análisis de Resultados – Dióxido de Azufre

El dióxido de azufre es un gas incoloro, inflamable, no explosivo, reactivo, se produce durante la quema de combustibles que contienen azufre, como carbón y derivados de petróleo, Los niños y adultos con asma son los más vulnerables, el estrechamiento de las vías respiratorias (bronco constricción), puede causar síntomas como opresión del pecho y dificultad para respirar; estos síntomas se vuelven más graves conforme aumentan las concentraciones del SO₂.

El sulfuro de hidrógeno (H₂S) es un gas incoloro de olor fétido (semejante al de los huevos podridos) y es muchísimo más venenoso que el monóxido de carbono.

Los efectos del Azufre sobre la salud, durante diversos

procesos se añaden al medio ambiente enlaces de azufre dañinos para los animales y los hombres, estos enlaces de azufre dañinos también se forman en la naturaleza durante diversas reacciones, sobre todo cuando se han añadido sustancias que no están presentes de forma natural.

Los compuestos del azufre presentan un olor desagradable y a menudo son altamente tóxicos, pueden tener los siguientes efectos en la salud humana: neurológicos, alteración de la circulación sanguínea, daños cardíacos, fallos reproductores, gastrointestinales, daños del hígado y los riñones, alteraciones del metabolismo hormonal, efectos dermatológicos, asfixia y embolia pulmonar, efectos ambientales, irritaciones en los ojos y garganta; los efectos dañinos del azufre en los animales son principalmente daños cerebrales, a través de un malfuncionamiento del hipotálamo, y perjudicar el sistema nervioso; el azufre puede causar graves daños vasculares en las venas del cerebro, corazón y riñones, pueden causar daños fetales y efectos congénitos, las madres pueden incluso transmitirles envenenamiento por azufre a sus hijos a través de la leche materna, el azufre puede dañar los sistemas enzimáticos internos de los animales.

La calidad del aire en la estaciones de monitoreo del Callao, Lima Este, Lima Sur, Lima Norte es de buena calidad, resultando de color verde. Solo la estación de monitoreo de Lima Centro la calidad del aire es regular.

4.3.6. Análisis de Resultados – Dióxido de Nitrógeno

El Dióxido nitroso es un gas incoloro e inodoro, tóxico a altas concentraciones y presente en el aire en menos de 0,50 ppm, la fuente antropogénica por combustibles de motores de combustión interna. Es un gas de color café rojizo, altamente reactivo, que se forma cuando otro contaminante, se combina con el oxígeno del aire, el dióxido de nitrógeno reacciona con los compuestos orgánicos volátiles (COVs) para formar el ozono a nivel del suelo, la fuente son los automóviles, las plantas de generación, los procesos industriales de combustión.

El dióxido de nitrógeno puede causar efectos en la salud; en proceso de combustión, el nitrógeno en el combustible, los óxidos nítricos en el aire se convierten en dióxido de nitrógeno mediante reacciones fotoquímicas. En el interior de los motores provocan la oxidación del nitrógeno atmosférico, causando óxidos de nitrógeno expulsados por el escape del vehículo, que daña el sistema respiratorio.

La Organización Mundial de la Salud señala que las partículas más finas causan daños según el tiempo de exposición, y la concentración del agente contaminante; las personas que presentan enfermedades respiratorias, el corazón, asma, obstrucción pulmonar crónica, congestiones cardíacas; expuestos a material particulado tienen riesgo de incrementar el agravamiento de cuadros clínicos; las personas de edad avanzada son sensibles a la exposición de estos agentes contaminantes, pudiendo presentar alteraciones de la función cardíaca.

La calidad del aire en las estaciones de monitoreo del Callao, Estación de monitoreo de Lima Este, estación de monitoreo de Lima Sur, y Lima Norte el aire es de buena calidad. Mientras que en la estación de monitoreo de Lima Centro la calidad del aire es regular.

4.4. Modelo de identificación de factores contaminantes atmosféricos en la zona urbana de Lima y Callao

La contaminación ambiental de la Zona Urbana de Lima y Callao se relaciona con las condiciones climáticas, la pavimentación de las calles, control de emisiones atmosféricas de fuentes fijas, emisiones atmosféricas del parque automotor, el crecimiento poblacional, las migraciones y las inmigraciones; los efectos de los contaminantes atmosféricos para la salud humana, las plantas, los monumentos arquitectónicos, los animales en una proyección de 10 años, de la población de la zona urbana de Lima y Callao.

El modelo dinámico de identificación de los factores de la contaminación ambiental es una técnica que utiliza la matriz de causa-efecto, transformada en diagramas causales y diagramas de flujo, simulada utilizando el software STELLA versión 9.0, con los siguientes valores:

1. Índice de contaminación del aire en el modelo STELLA versión 9.0 ingresa valores binarios de 0 y 1.
2. El valor 1 indica que concentración de la contaminación de aire, en (PM-10) supera el Estándar de Calidad Ambiental del aire (ECA).
3. El valor cero que la concentración de la contaminación de. Aire, en (PM 10) no supera el Estándar de Calidad Ambiental del aire ECA, no representa peligro para la salud de las personas.

4. Los valores de los factores de la contaminación atmosférica.
5. Concentración del contaminante atmosférico (PM-10), en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
6. Tasa de concentración del PM-10.
7. Cantidad de PM-10 en la atmósfera, en Tn/año.
8. Total de emisiones atmosféricas del parque automotriz, industrial y doméstica, en Tn/año.
9. Cantidad de PM-10 en la atmósfera 2010, en Tn/año.
10. Concentración del PM-10 2010,
11. La concentración del PM-10 en la contaminación atmosférica resulta multiplicando la Tasa de PM-10 y el Total de emisión automotriz, industrial y doméstica. (La suma de los tres factores).
12. Emisión de contaminantes del parque automotriz, en Tn/año.
13. Emisión de contaminantes del sector industrial, en Tn/año.
14. Emisión de la población o doméstica, en Tn/año.
15. Cada uno de estos valores afectada por los factores.
16. Tasa de emisión del parque automotriz.
17. Tasa de emisión del sector industrial.
18. Tasa de emisión de la población.
19. Crecimiento de la población urbana de Lima y Callao.
20. Los nacimientos, los inmigrantes, muertes por enfermedades respiratorias de la contaminación atmosférica, muertes por causas diferentes a la contaminación y los emigrantes; chimeneas de actividades comerciales como restaurantes, queman de residuos sólidos.
21. La Tasa de emisión de contaminante en Tn/año por cada 1000 habitantes.
22. La población de la ciudad afecta los factores.
23. Tasa de nacimientos.
24. Tasa de muerte por otras enfermedades.
25. Tasa de inmigrantes.
26. Tasa de emigrantes.
27. La tasa de enfermedades respiratorias.
28. Número de infectados.
29. Población enferma.

- 30. Número de personas curadas.
- 31. Tasa de personas curadas.
- 32. Número de muertes por causa de la contaminación.
- 33. Tasa de muertes por la contaminación.

(Ver fuente de datos estadísticos en la sección Anexos).

- 1. Población Total, Crecimiento Intercensal, Anual y Tasa de crecimiento Promedio anual, 1940,1961, 1972, 1981,1993, 2005 y 2007.
- 2. Población Censada, según departamento, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 y 2007.
- 3. Población Censada, según departamento, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 y 2007.
- 4. Densidad de la población – Lima y Callao, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 y 2007.
- 5. Población estimada y proyectada por sexo y tasa de crecimiento, según años calendarios, 1990 – 2021
- 6. Población migrante en los cinco años anteriores al censo de 2007, según departamento, 2002-2007.
- 7. Población inmigrante y emigrante, Lima y Callao, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 y 2007.
- 8. Plano de Lima Metropolitana y Callao.
- 9. Plano geográfico de Lima y Callao.

Cuadro 33. Diagrama de Modelo boundary

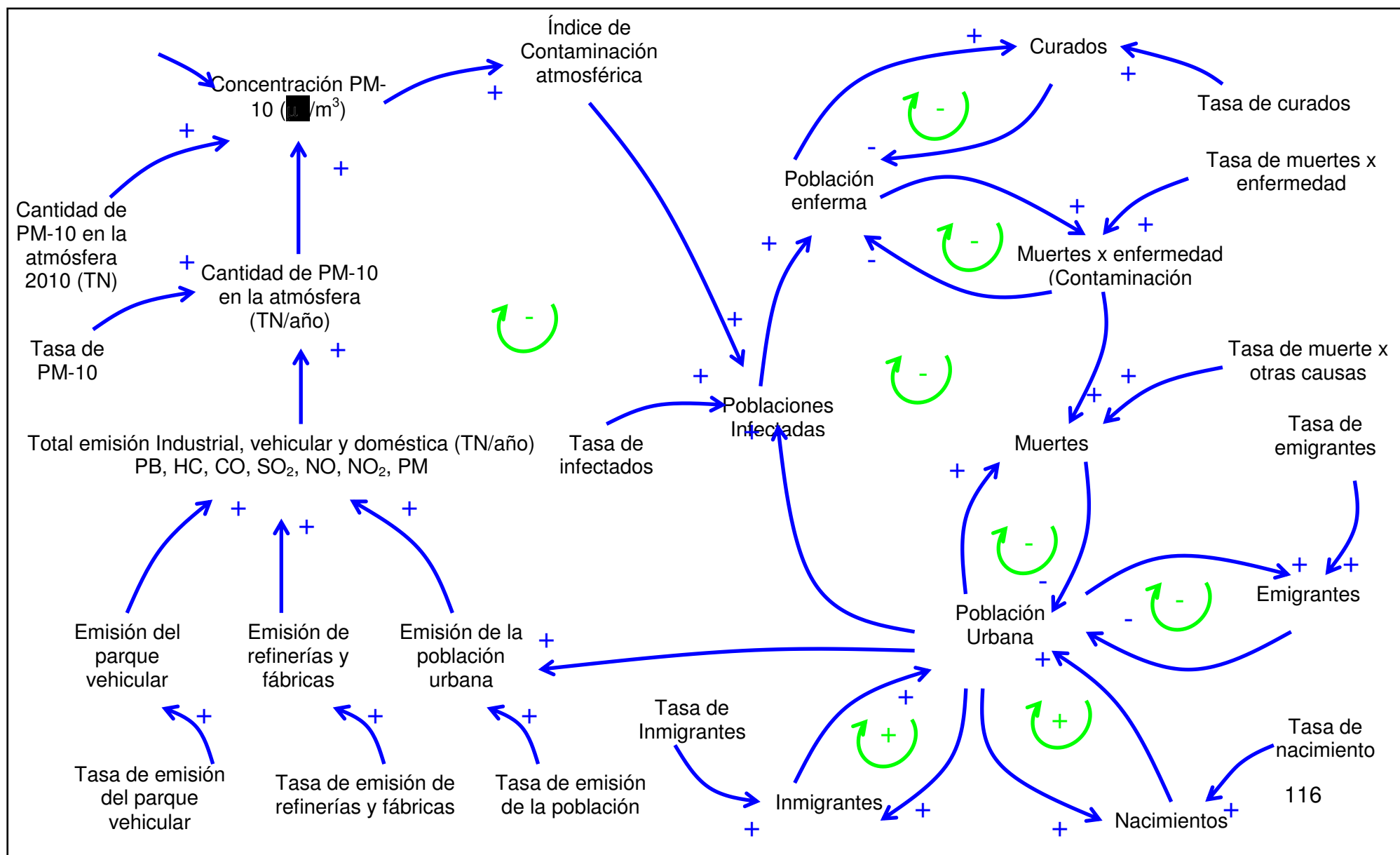
Factores Endógenas	Factores Exógenos	Factores Excluidas
Índice de contaminación del aire	Inversión térmica	Condiciones económicas
Concentración del contaminante atmosférico PM-10	Efecto invernadero	Condiciones políticas
Tasa de concentración del PM-10	Viento	Desarrollo de áreas verdes
Cantidad de PM-10 en la atmósfera	Lluvia	Expansión urbana
Total emisión automotriz, industrial y doméstica		
Cantidad de PM-10 en la atmósfera 2010.		Crecimiento de vehículos de transporte público
Concentración del PM-10 2010		
Emisión de contaminantes del parque automotriz		Intensidad de población en los diferentes distritos de Lima y Callao
Emisión de contaminantes del sector industrial		Ventaja utilizando tecnología moderna en la producción de automóviles
Emisión de la población o doméstica		
Tasa de emisión del parque automotriz		
Tasa de emisión del sector industrial		
Tasa de emisión de la población		
Población de la ciudad de Lima Metropolitana y el Callao		
Tasa de nacimientos		
Tasa de muerte por contaminación		
Tasa de muerte por otras enfermedades		
Tasa de inmigrantes		
Tasa de emigrantes		
La tasa de infección con enfermedades debido a la contaminación del aire		
Número de infectados		
Población enferma		
Número de personas curadas		
Tasa de personas curadas		
Número de muertes por causa de la contaminación		
Tasa de muertes por la contaminación		

4.5. Diagrama Causal

El modelo muestra las relaciones causales entre los factores de la contaminación y sus efectos, por medio de lazos positivo y negativo; el positivo indica un crecimiento, y el negativo disminución.

El diagrama causal del modelo se muestra en la (cuadro 35).

Cuadro 34. Diagrama causal del modelo dinámico



4.6. Desarrollo del Modelo Dinámico de Contaminación Atmosférico

El Modelo se relaciona con la contaminación del aire, con los factores de población urbana, influenciados por sus factores de nacimientos, muertes, emigrantes, inmigrantes, población enferma, etc. Para un periodo de 10 años, con 8 circuitos casuales (loops), de los cuales 2 son positivos y 6 negativos.

Descripción del modelo:

1. En el primer circuito hay un lazo negativo entre el índice de contaminación del aire y el número de personas infectadas por la contaminación, la población, emisión de la población, total emisión Industrial, vehicular y doméstica, cantidad de PM-10 en la atmósfera y la concentración del PM-10.
2. Existe un lazo negativo entre la población enferma y el número de muertes por contaminación, total de muertes que incluyen a muertes por otras causas, la población urbana y el número de infectados.
3. Un lazo negativo entre la población urbana y el número de emigrantes por año, un incremento de emigrantes/año, que hará la población urbana disminuya.
4. Un lazo negativo entre la población urbana y el número de muertes por año, representa el número de muertes por contaminación y por otras causas.
5. Un lazo positivo entre la población urbana y el número de nacimientos al año.
6. Otro lazo positivo entre la población urbana y el número de inmigrantes.

7. Otra lazo negativo hay entre la población enferma y el número de personas curadas de las enfermedades por contaminación ambiental.
8. Un lazo negativo entre la población enferma y número de muertes al año por causa de la contaminación atmosférica.

El modelo dinámico de identificación de factores de la en una interacción entre ocho lazos, simulados en el programa Stella versión 5.0.

4.7. Diagrama de Flujo del Modelo Dinámico

El diagrama de flujo visualiza los factores del proceso direccionado con la información y características integrando la estructura principal del modelo. El tamaño de población, contaminantes atmosféricos (Tn), concentración de los contaminantes PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), etc. se determina en los diagramas como una cantidad. En los diagramas de flujo del modelo de la contaminación atmosférica, las categorías de los factores:

- a) **De nivel:** población urbana y población enferma.
- b) **De tasa:** número de nacimientos por año, número de inmigrantes por año, número de muertes por año, número de emigrantes por año, número de muertes por enfermedad por año, número de personas curadas por año, número de enfermos por año.
- c) **Auxiliar:** Emisión del parque vehicular, emisión de refinerías y fábricas, emisión de la población, total contaminación, industrial vehicular y doméstica (los sólidos suspendidos: polvo, Pb, CO, SO₂, NO₂, y NO), partículas suspendidas pm-10, concentración del pm-10, índice de contaminación atmosférica, número de infectados.
- d) **Constantes:** tasa de nacimientos, tasa de inmigrantes, tasa de emigrantes, tasa de muerte por enfermedad de contaminantes, tasa de muerte por otras causas, tasa de curados, tasa de infección, tasa de emisión del parque vehicular, tasa de emisión de refinerías

y fábricas, tasa de emisión de la población, tasa de PM-10, concentración del PM-10, cantidad de PM-10 en la atmósfera.

e) Tabla de Funciones: después del dibujar el diagrama de flujo del modelo, usando Stella 5.0 insertamos los números y fórmulas para cada uno de nuestros niveles, tasa y variables auxiliares así como las constantes y la tabla de funciones. Ahora tenemos un modelo completo, y procedemos a correr el programa.

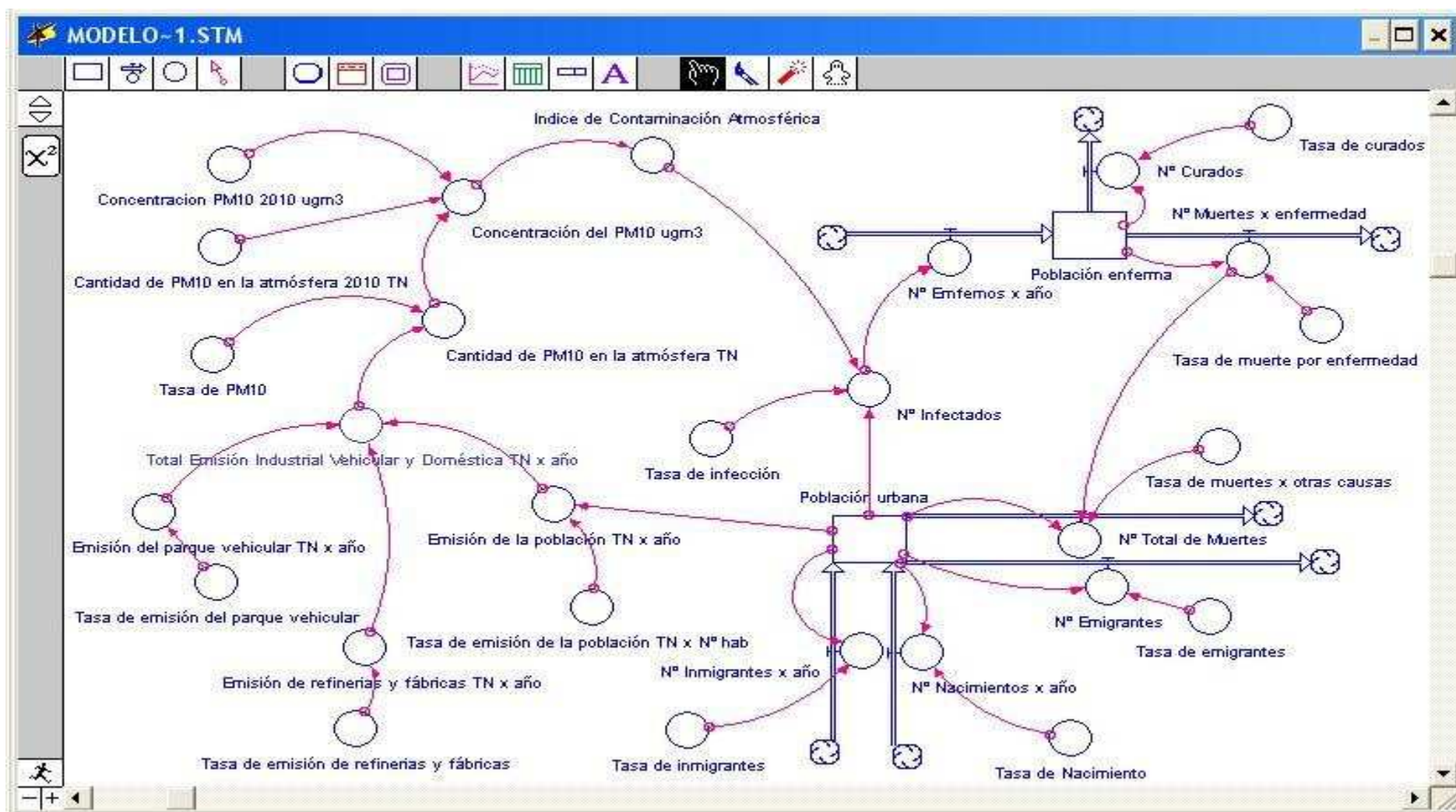
Valores de entrada del Modelo Dinámico

- Los valores iniciales que tomarán las variables serán del año 2010, time = 0 para el programa.
- Se hará una simulación para diez años, hasta el año 2020, time = 10 para el programa.
- Los valores iniciales de las variables se indican en tabla 4.1. Se está considerando un segundo escenario suponiendo una reducción anual en las emisiones del parque vehicular e industrial.

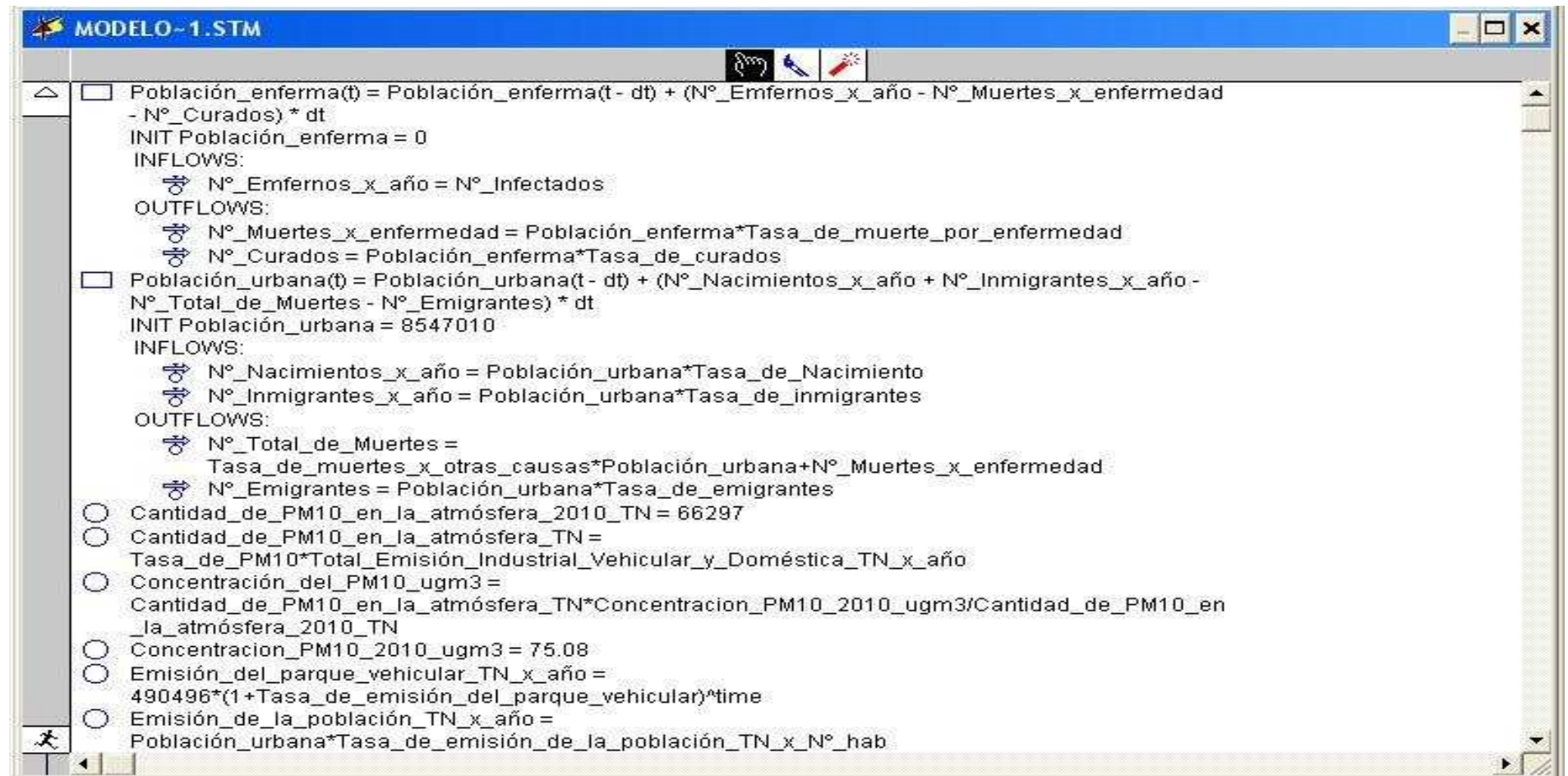
Cuadro 35. Valores de las variables del modelo

Factores Endógenas	Escenario 1 Valores iniciales	Escenario 2 Suposición
Índice de contaminación del aire		
Concentración del contaminante atmosférico PM-10		
Tasa de concentración del PM-10	0.10	
Cantidad de PM-10 en la atmósfera		
Total emisión automotriz, industrial y doméstica		
Cantidad de PM-10 en la atmósfera 2010.	66 297	
Concentración del PM-10 2010	75,08	
Emisión de contaminantes del parque automotriz	490 496	
Emisión de contaminantes del sector industrial	163 922	
Emisión de la población o doméstica	8 547,01	
Tasa de emisión del parque automotriz	0.01	-0.1
Tasa de emisión del sector industrial	0.005	-0.05
Tasa de emisión de la población	0.001	
Población de la ciudad de Lima Metropolitana y el Callao	8 547 010	
Tasa de nacimientos	0.01875	
Tasa de muerte por contaminación	0.05	
Tasa de muerte por otras causas	0.00665	
Tasa de inmigrantes	0.012	
Tasa de emigrantes	0.0045	
La tasa de infección con enfermedades debido a la contaminación del aire	0.02	
Número de infectados		
Población enferma	0	
Número de personas curadas		
Tasa de personas curadas	0.3	
Número de muertes por causa de la contaminación		

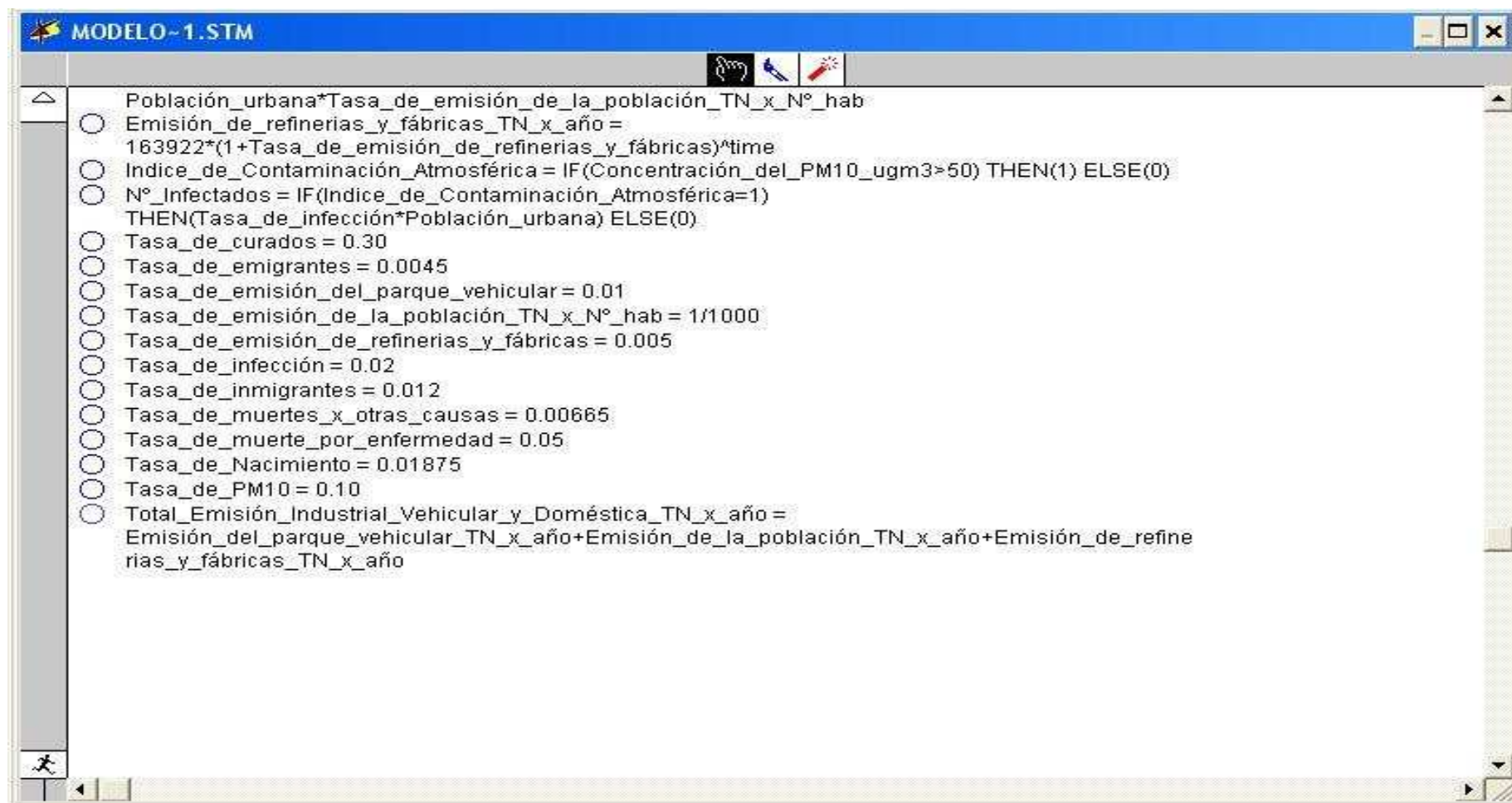
Cuadro 36. Simulación del Modelo Dinámico de Contaminación con el Stella 9.0



Ecuaciones del Modelo en el STELLA 9.0
Cuadro 37. Ecuaciones del Modelo Dinámico



Cuadro 38. Ecuaciones del modelo dinámico (continuación)

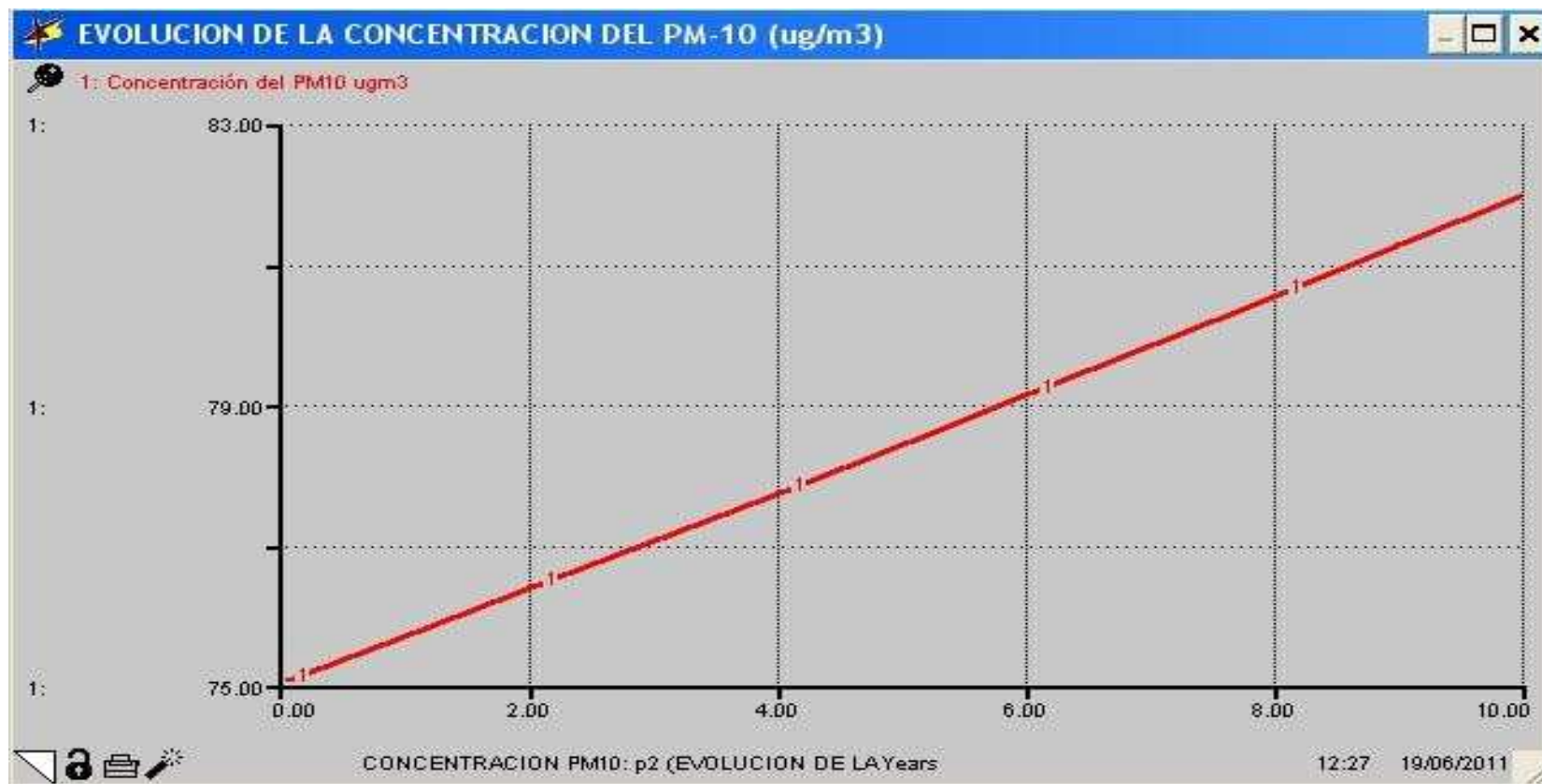


Reportes del Modelo (Escenario 1)

Cuadro 39. Evolución de Contaminantes Atmosféricos, Concentración del PM-10 y el Indicador de Contaminación

Years	Emisión del parque vehi	Emisión de refineries y	Emision de la poblacion	Total Contaminación Ind	Partículas Suspendidas	Concentración del PM10	Indice Contaminación A
0	490,496.00	163,922.00	85,470.10	739,888.10	36,994.41	65.79	1.00
1	495,400.96	165,561.22	88,461.55	749,423.73	37,471.19	66.64	1.00
2	500,354.97	167,216.83	91,514.97	759,086.77	37,954.34	67.49	1.00
3	505,358.52	168,889.00	94,637.44	768,884.96	38,444.25	68.37	1.00
4	510,412.10	170,577.89	97,835.52	778,825.52	38,941.28	69.25	1.00
5	515,516.23	172,283.67	101,115.36	788,915.25	39,445.76	70.15	1.00
6	520,671.39	174,006.51	104,482.72	799,160.61	39,958.03	71.06	1.00
7	525,878.10	175,746.57	107,943.14	809,567.81	40,478.39	71.98	1.00
8	531,136.88	177,504.04	111,501.90	820,142.82	41,007.14	72.92	1.00
9	536,448.25	179,279.08	115,164.14	830,891.46	41,544.57	73.88	1.00
Final	541,812.73	181,071.87	118,934.85	841,819.45	42,090.97	74.85	1.00

Cuadro 40. Evolución del PM-10 (En $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Cuadro 41. Evolución de La Población Urbana, Inmigrantes, Nacimientos, Muertes y Emigrantes

Untitled Table						
POBLACION URBANA (Untitled Table)						
Years	Población urbana	Nº Inmigrantes x año	Nº Nacimientos x año	Nº Emigrantes	Nº Total de Muertes	Nº Muertes x enfermedad
0	8,547,010.00	102,564.12	160,256.44	38,461.55	56,837.62	0.00
1	8,714,531.40	104,574.38	163,397.46	39,215.39	66,498.64	8,547.01
2	8,876,789.20	106,521.47	166,439.80	39,945.55	73,300.74	14,270.09
3	9,036,504.18	108,438.05	169,434.45	40,664.27	78,245.10	18,152.35
4	9,195,467.32	110,345.61	172,415.01	41,379.60	81,985.39	20,835.53
5	9,354,862.95	112,258.36	175,403.68	42,096.88	84,948.40	22,738.56
6	9,515,479.70	114,185.76	178,415.24	42,819.66	87,412.87	24,134.93
7	9,677,848.17	116,134.18	181,459.65	43,550.32	89,560.87	25,203.18
8	9,842,330.82	118,107.97	184,543.70	44,290.49	91,511.42	26,059.92
9	10,009,180.58	120,110.17	187,672.14	45,041.31	93,342.33	26,781.28
Final	10,178,579.25					

**Cuadro 42. Tabla de evolución de la población urbana, población enferma, población curada,
Muertes por enfermedad y total muertes**

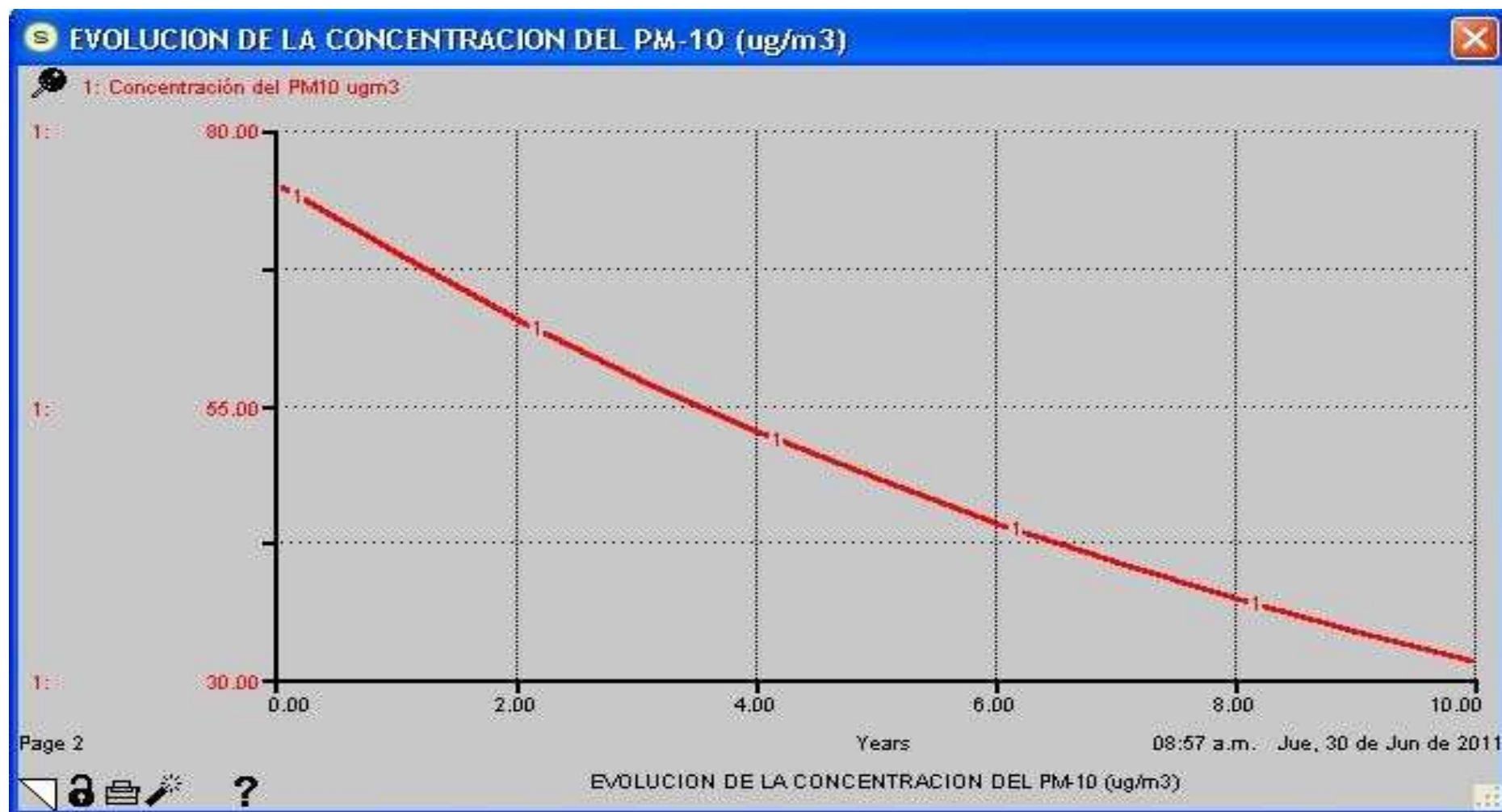
Untitled Table						
23:25 24/04/2011 Poblacion enferma (Untitled Table)						
Years	Población urbana	Población enferma	Nº Muertes x enfermedad	Nº Curados	Nº Total de Muertes	
0	8,547,010.00	0.00	0.00	0.00	85,470.10	
1	8,846,155.35	85,470.10	4,273.51	8,547.01	92,735.06	
2	9,151,497.28	161,111.14	8,055.56	16,111.11	99,570.53	
3	9,463,744.13	228,459.44	11,422.97	22,845.94	106,060.41	
4	9,783,552.20	288,827.97	14,441.40	28,882.80	112,276.92	
5	10,111,535.13	343,339.29	17,166.96	34,333.93	118,282.32	
6	10,448,271.90	392,953.75	19,647.69	39,295.38	124,130.41	
7	10,794,313.73	438,493.41	21,924.67	43,849.34	129,867.81	
8	11,150,190.04	480,662.53	24,033.13	48,066.25	135,535.03	
9	11,516,413.56	520,065.05	26,003.25	52,006.51	141,167.39	
Final	11,893,484.78	557,219.43				

Reportes del Modelo (Escenario 2)

Cuadro 43. Evolución de contaminantes atmosféricos, concentración del PM-10 y el indicador de contaminación

EMISION Y CONTAMINACION (Untitled Table)								
Years	Emisión del parque vehicul	Emisión de refineras y fá	Emisión de la población TN	Total Emisión Industrial Ve	Cantidad de PM10 en la at	Concentración del PM10 ug	Índice de Contaminación A	Nº Infectados
0	490 496.00	163 922.00	8 547.01	662 965.01	66 296.50	75.08	1.00	170 940.20
1	441 446.40	155 725.90	8 714.53	605 886.83	60 588.68	68.62	1.00	174 290.63
2	397 301.76	147 939.60	8 876.79	554 118.15	55 411.82	62.75	1.00	177 535.78
3	357 571.58	140 542.62	9 036.50	507 150.71	50 715.07	57.43	1.00	180 730.08
4	321 814.43	133 515.49	9 195.47	464 525.39	46 452.54	52.61	1.00	183 909.35
5	289 632.98	126 839.72	9 354.86	425 827.56	42 582.76	48.22	0.00	0.00
6	260 669.68	120 497.73	9 515.48	390 682.90	39 068.29	44.24	0.00	0.00
7	234 602.72	114 472.85	9 687.20	358 762.77	35 876.28	40.63	0.00	0.00
8	211 142.44	108 749.20	9 867.47	329 759.11	32 975.91	37.34	0.00	0.00
9	190 028.20	103 311.74	10 054.62	303 394.57	30 339.46	34.36	0.00	0.00
Final	171 025.38	98 146.16	10 247.63	279 419.17	27 941.92	31.64	0.00	0.00

Cuadro 44. Evolución del PM-10 (En $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Cuadro 45. Tabla de evolución de la población urbana, población enferma, población curada, Muertes por enfermedad y total muertes

Untitled Table						
08:57 a.m. 30/06/2011 POBLACION ENFERMA(Untitled Table)						
Years	Población urbana	Población enferma	Nº Infectados	Nº Curados	Nº Muertes x enfermedad	
0	8 547 010.00	0.00	170 940.20	0.00	0.00	
1	8 714 531.40	170 940.20	174 290.63	51 282.06	8 547.01	
2	8 876 789.20	285 401.76	177 535.78	85 620.53	14 270.09	
3	9 036 504.18	363 046.93	180 730.08	108 914.08	18 152.35	
4	9 195 467.32	416 710.59	183 909.35	125 013.18	20 835.53	
5	9 354 862.95	454 771.23	0.00	136 431.37	22 738.56	
6	9 515 479.70	295 601.30	0.00	88 680.39	14 780.06	
7	9 687 203.04	192 140.84	0.00	57 642.25	9 607.04	
8	9 867 465.17	124 891.55	0.00	37 467.46	6 244.58	
9	10 054 622.91	81 179.51	0.00	24 353.85	4 058.98	
Final	10 247 634.55	52 766.68	0.00			

Cuadro 46. Evolución de la población urbana, inmigrantes, nacimientos, muertes y emigrantes

POBLACION URBANA (Untitled Table)						
Years	Población urbana	Nº Inmigrantes x año	Nº Nacimientos x año	Nº Emigrantes	Nº Total de Muertes	Nº Muertes x enfermedad
0	8 547 010.00	102 564.12	160 256.44	38 461.54	56 837.62	0.00
1	8 714 531.40	104 574.38	163 397.46	39 215.39	66 498.64	8 547.01
2	8 876 789.20	106 521.47	166 439.80	39 945.55	73 300.74	14 270.09
3	9 036 504.18	108 438.05	169 434.45	40 664.27	78 245.10	18 152.35
4	9 195 467.32	110 345.61	172 415.01	41 379.60	81 985.39	20 835.53
5	9 354 862.95	112 258.36	175 403.68	42 096.88	84 948.40	22 738.56
6	9 515 479.70	114 185.76	178 415.24	42 819.66	78 058.00	14 780.06
7	9 687 203.04	116 246.44	181 635.06	43 592.41	74 026.94	9 607.04
8	9 867 465.17	118 409.58	185 014.97	44 403.59	71 863.22	6 244.58
9	10 054 622.91	120 655.47	188 524.18	45 245.80	70 922.22	4 058.98
Final	10 247 634.55					

CONCLUSIONES

1. La calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao según partículas menores o iguales a 10 micras PM10:

- Estación de monitoreo del Callao es de regular calidad
- Estación de monitoreo de Lima Centro es de calidad insalubre
- Estación de monitoreo de Lima Este es de mala calidad
- Estación de monitoreo de Lima Sur es de mala calidad
- Estación de monitoreo de Lima Norte es de calidad insalubre

2. La calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao según partículas menores o iguales a 2.5 micras PM 2.5:

- Estación de monitoreo del Callao la calidad del aire es insalubre
- Estación de monitoreo de Lima Centro la calidad del aire es peligroso
- Estación de monitoreo de Lima Este la calidad del aire es peligroso
- Estación de monitoreo de Lima Norte la calidad del aire es peligroso

3. La calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao según las partículas totales en suspensión PTS:

- Estación de monitoreo del Callao, el aire es de mala calidad.
- Estación de monitoreo de Lima Centro la calidad del aire es insalubre
- Estación de monitoreo de Lima Este la calidad del aire es insalubre
- Estación de monitoreo de Lima Sur la calidad del aire es insalubre
- Estación de monitoreo de Lima Norte la calidad del aire es insalubre

4. La calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao según el dióxido de azufre

- Estación de monitoreo del Callao el aire es de buena calidad
- Estación de monitoreo de Lima Centro la calidad del aire es regular
- Estación de monitoreo de Lima Este la calidad del aire es buena
- Estación de monitoreo de Lima Sur la calidad del aire es buena
- Estación de monitoreo de Lima Norte la calidad del aire es buena

5. La calidad del aire de la zona urbana de Lima y Callao según el dióxido de nitrógeno:

- Estación de monitoreo del Callao la calidad del aire es de buena calidad
- Estación de monitoreo de Lima Centro el aire es de regular calidad
- Estación de monitoreo de Lima Este el aire es de buena calidad
- Estación de monitoreo de Lima Sur, el aire es de buena calidad
- Estación de monitoreo de Lima Norte el aire es de buena calidad

6. Utilización de Modelos Dinámicos:

- Mediante el empleo de Modelos Dinámicos (Stella, Vensim, Arena, etc.), se puede definir la relación de influencia de la contaminación y sus efectos en la población.

RECOMENDACIONES

1. El control de importación de unidades de transporte “del parque automotor de segunda” que ingresan al país.
2. Aplicar las revisiones técnicas vehiculares, para el control de las emisiones atmosféricas específicamente en las unidades móviles obsoletas.
3. El sector transporte e industrial debe sustituir el uso del combustible tradicional por el gas natural viable no contribuye a la contaminación ambiental.
4. Revisiones técnicas del parque automotor, retirando los vehículos obsoletos que contaminan la calidad de aire.
5. Limpieza de las vías públicas y la pavimentación de las calles, así mismo la forestación de las avenidas y calles de las zonas urbanas de Lima y Callao, a fin de proporcionar oxígeno a la población.
6. Actualización de los inventarios de emisiones de los registros de fuentes de emisiones fijas y móviles, según el modelo propuesto.
7. Fortalecimiento de la autoridad edil y gobierno central en la aplicación de normas y sanciones para el control de la calidad del aire en la zona urbana de Lima y Callao.
8. Innovación tecnológica industrial con la sustitución de generación de energía con el uso de GLP/GNC en ladrilleras y fundiciones y parque automotor.

9. Pavimentar las pistas y veredas de las calles para reducir la emisión de partículas en suspensión.
10. Controlar la quema de residuos sólidos en la vía pública, locales comerciales, techos de viviendas, parques y jardines.
11. Desarrollar Políticas Públicas que permitan el control del medio ambiente y evaluar mediante el indicador de calidad del aire propuesto. Informando a la población en forma continúa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDIA VALENCIA, WALTER., Manual de Gestión Ambiental (2009), centro de investigación y capacitación empresarial, Perú.

ARAGÓN A., CAMPOS A., LEYVA R., HERNÁNDEZ M., BONITO L.A. Modelos para el cálculo de monóxido de carbono en avenidas (1992). En: Contaminación del aire y salud. Serie Salud Ambiental, No. 2. La Habana. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. México D.F. Ciencias Médicas. 1992:79-91.

CABRERA C., MALDONADO M., ARÉVALO W.; PACHECO R., Calidad de Gas natural de Lima y Callao (2010). <http://www.calidda.com.pe>. . [Visitado: 04-11-2010]

COUSILLAS, A.; MAÑAY, N.; PEREIRA, L.; RAMPOLDI, O.; DE LEÓN, S.; SOTO, N.; PIAZZA, N.; PIERI, D. (1996) "Determinación del grado de impregnación plúmbica en niños de un barrio de Montevideo (Malvín Norte)". En Acta Farm. Bonaerense. 15 (4):215-24 Buenos Aires. Argentina.

CHARPENTIER, S. y HIDALGO, J. (2000). Políticas Ambientales en el Perú, Ed. Agenda Perú.

DAVID Hunt (2000). Sistema de Gestión Ambiental. Catherine Jonson, Ed. Mc Graw Hill. New York.

DÍAZ, F., COREY, G. (2000). Evaluación del riesgo por la exposición a Plomo.

Dirección General de Salud Ambiental. <http://www.digesa.minsa.gob.pe>. [Visitado: 04-11-2010]

DOMINGO GÓMEZ, Orea. (1998) Evaluación del Impacto ambiental, Ed.

FUNDACIÓN MAPFRE (1998). Planificación y Control de la Contaminación Ambiental, M. Soares Calvo, Itsemap. Madrid

GIRALDO, A. y LOAYZA, S. (2001). U.N.M.S.M. Facultad de Ingeniería Geográfica. El índice de calidad ambiental y calidad de vida. Ministerio de Salud. <http://www.minsa.gob.pe>. [Visitado: 04-11-2010].

GUTIÉRREZ SISNIEGAS, Jorge. (1982). La contaminación del aire por emisiones gaseosas y su regulación en el Perú. RPDE 82 – 101. Perú.

HANKE, J. E. y REITSH, A. G. (1996). Pronóstico en los negocios (5 ed.). México: Prentice Hall Hispanoamericana. Especialistas en eficiencia energética <http://www.stilar.net>. [Visitado: 10-11-2010]

HERBERT, F. Lund (1998). Manual de Mc Graw Hill de Reciclaje, Ed. Mc Graw Hill

Instituto Nacional de Estadística e Informática. <http://www.inei.gob.pe>. [Visitado: 04-11-2010].

KIELY, G. (1999). Ingeniería Ambiental. Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión. Madrid. McGraw-Hill/Interamericana de España S.A.U. Volumen II, Páginas 458 a 460.

LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. (2008). Procedimiento de evaluación de emisiones Atmosférica Generada Por Fuentes Fijas. Colombia. p. 78. versión preliminar.

NOEL DE NEVER. (2000) Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire. Ed. Mc Graw Hill.

Medio Ambiente en el Perú (2000), Instituto Cuanto USAID.

MIRANDA, N. Y LUSZCZEWSKI A. (2006) Influencia de emisiones industriales en el polvo atmosférico de la ciudad de san Luis potosí, México. Revista Contaminación Ambiental. 22(1). México.

PROGRAMA NACIONAL DE VIGILANCIA SANITARIA DE CALIDAD DEL AIRE (2010). En: <http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/caire/lima_callao.asp>. [Visitado: 03-11-2010].

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. (2002). Examen de la Aplicación de los Asuntos Técnicos del Convenio de Basilea, Preparación de las Directrices Técnicas. UNEP/CHW.6/22. Ginebra.

REGLAMENTO DE ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE (D.S. Nº 074-2001-PCM). Lima.

ROMERO Placeres M, MÁS Bermejo P, LACASAÑA NAVARRO M, TÉLLEZ ROJO Solís MM, AGUILAR VALDÉS J, Romieu I. (2004). Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad de La Habana. Sal Pública México. 46:222-3.

SÁNCHEZ, J., GARCÍA, E., JUÁREZ, L., GARCÍA, E., GÓMEZ, J. L., VALENCIA, R. (2000). Evaluación de Riesgos y Efectos en la Salud de Poblaciones Expuestas a Plomo. México.

SILVA, J. MONTOYA, Z. (2004). Análisis de la relación entre el comportamiento

estacional de los contaminantes sólidos sedimentables con las condiciones meteorológicas predominantes en la zona metropolitana de lima-callao durante el año 2004. Lima. Perú.

SWISSCONTAC y CALANDRIA. (2009). Programa regional de aire limpio. Sistematización de experiencias. Perú.

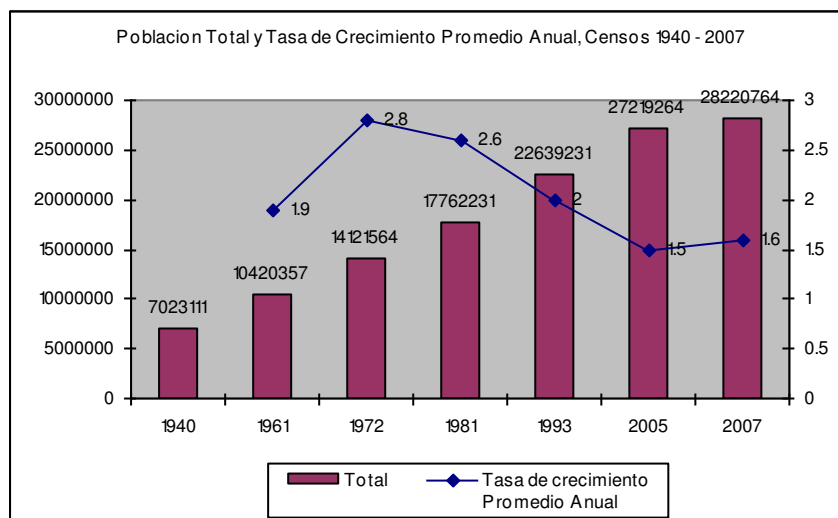
Unidad de Toxicología Ambiental, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis de Potosí, México. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS).

ANEXOS

Anexo 1. POBLACIÓN TOTAL, CRECIMIENTO INTERCENSAL, ANUAL Y TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2005 Y 2007

Año	Población			
	Total	Incremento Intercensal	Incremento Anual	Tasa de crecimiento Promedio Anual
1940	7023111			
1961	10420357	3 397 246	161 774	1.9
1972	14121564	3 701 207	336 473	2.8
1981	17762231	3 640 667	404 519	2.6
1993	22639231	4 877 212	406 434	2
2005	27219264	4 579 821	381 652	1.5
2007	28220764	1 001 500	500 750	1.6

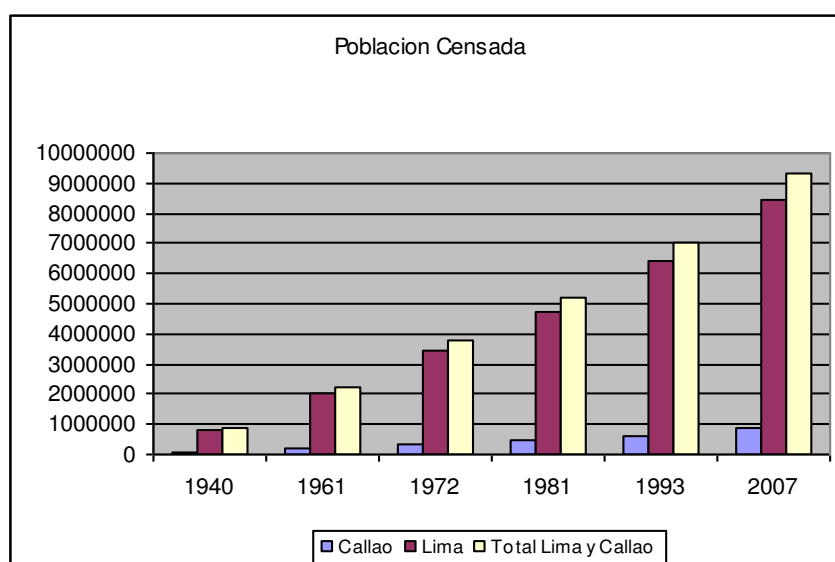
Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)-Censos de Población y Vivienda, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2005 y 2007



**Anexo 2. POBLACIÓN CENSADA, SEGÚN DEPARTAMENTO, 1940, 1961,
1972, 1981, 1993 Y 2007**

Departamento	Población Censada					
	1940	1961	1972	1981	1993	2007
Callao	82287	213540	321231	443413	639729	876877
Lima	828298	2031051	3472564	4745877	6386308	8445211
Total Lima y Callao	910585	2244591	3793795	5189290	7026037	9322088

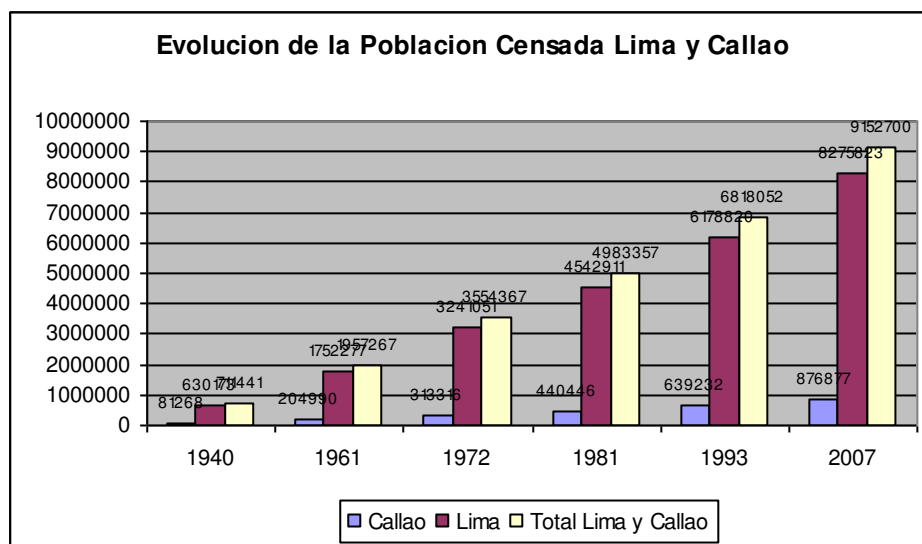
Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)-Censos de Población y Vivienda, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, y 2007



**Anexo 3. POBLACIÓN CENSADA, SEGÚN DEPARTAMENTO, 1940, 1961,
1972, 1981, 1993 Y 2007**

Departamento	Población Censada Urbana					
	1940	1961	1972	1981	1993	2007
Callao	81268	204990	313316	440446	639232	876877
Lima	630173	1752277	3241051	4542911	6178820	8275823
Total Lima y Callao	711441	1957267	3554367	4983357	6818052	9152700

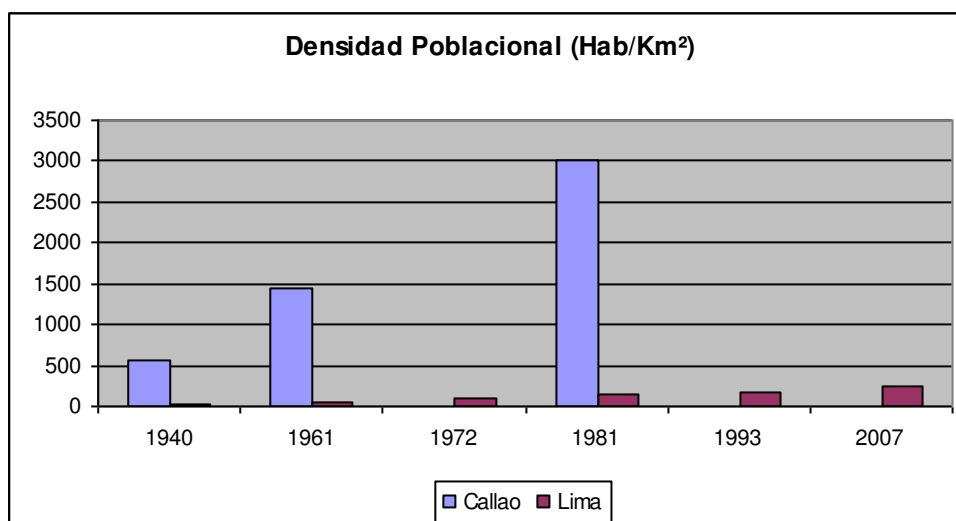
Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)-Censos de Población y Vivienda, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, y 2007



Anexo 4. DENSIDAD DE LA POBLACIÓN-LIMA Y CALLAO, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 Y 2007

Departamento	Densidad Poblacional (Hab/Km ²)					
	1940	1961	1972	1981	1993	2007
Callao	559.9	1452.9	2 185.5	3016.8	4352,5	5 966.0
Lima	23.8	58.4	99.8	136.4	183.5	242.7

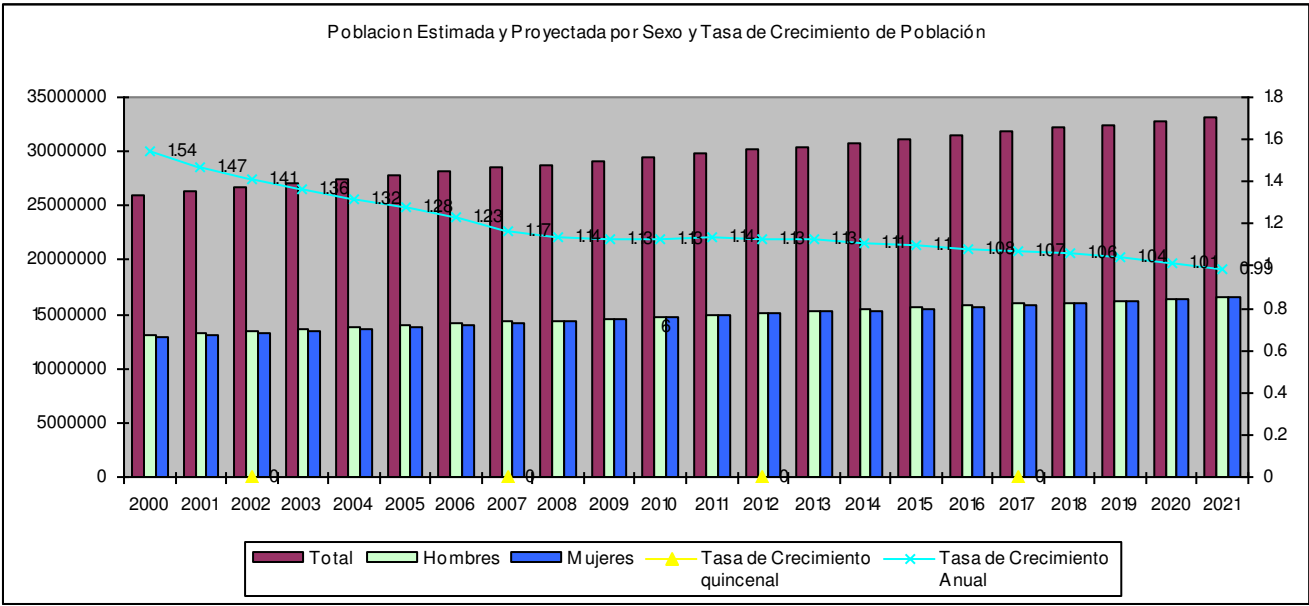
Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)-Censos de Población y Vivienda, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, y 2007



**Anexo 5. POBLACIÓN ESTIMADA Y PROYECTADA POR SEXO Y TASA DE
CRECIMIENTO, SEGÚN AÑOS CALENDARIOS, 1990 – 2021**

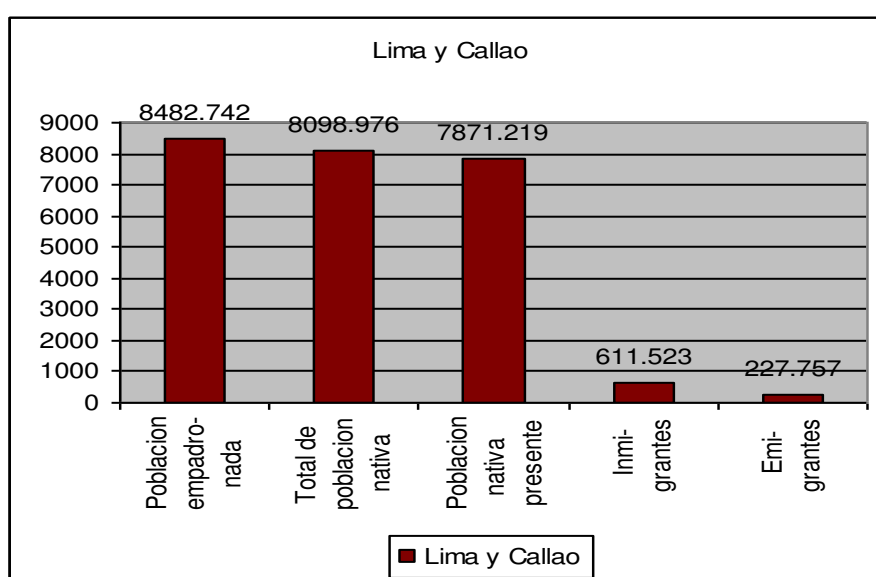
Años	Población			Tasa de Crecimiento quincenal	Tasa de Crecimiento Anual
	Total	Hombres	Mujeres		
2000	25983588	13039529	12944059		1.54
2001	26366533	13230410	13136123		1.47
2002	26739379	13416024	13323355	1,37	1.41
2003	27103457	13597121	13508336		1.36
2004	27460073	13774414	13685659		1.32
2005	27810540	13948639	13861901		1.28
2006	28151443	14118112	14033331		1.23
2007	28481901	14282346	14199555	1,16	1.17
2008	28807034	14443858	14363176		1.14
2009	29132013	14605206	14526807		1.13
2010	29461933	14768901	14693032		1.13
2011	29797694	14935396	14862298		1.14
2012	30135875	15103003	15032872	1,12	1.13
2013	30475144	15271062	15204082		1.13
2014	30814175	15438887	15375288		1.11
2015	31151643	15605814	15545829		1.1
2016	31488625	15772385	15716240		1.08
2017	31826018	15939059	15886959	1,05	1.07
2018	32162184	16105008	16057176		1.06
2019	32495510	16269416	16226094		1.04
2020	32824358	16431465	16392893		1.01
2021	33149016	16591315	16557701		0.99

Fuente: INEI -Perú estimaciones y proyecciones de la población 1950-2050. Boletín de Análisis Demográficos N° 36



Anexo 6. POBLACIÓN MIGRANTE EN LOS CINCO AÑOS ANTERIORES AL CENSO DE 2007, SEGÚN DEPARTAMENTO, 2002-2007

Departamento					
	Población empadronada	Total de población nativa	Población nativa presente	Inmigrantes	Emigrantes
Lima y Callao	8482.742	8098.976	7871.219	611.523	227.757



Migración reciente: Se refiere a los cambios de residencia de un departamento a otro ocurridos, durante los 5 años

Anteriores al censo.

Población empadronada: También llamada población censada.

Población Nativa Total: Es la población empadronada en su lugar de nacimiento más la población nativa que emigra a otro departamento

Población Nativa presente: Es la población empadronada en su lugar de nacimiento y con residencia vital en el.

Inmigrante: La Persona que procede de otro departamento, es decir que ha abandonado su lugar de nacimiento o de origen para llegar a establecerse en

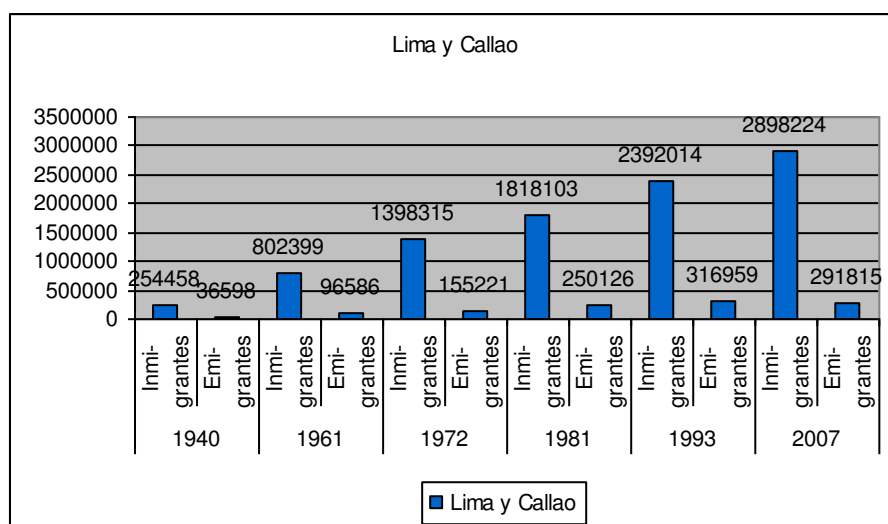
El lugar de empadronamiento.

Emigrante: Persona que abandona sale de su lugar de residencia para establecerse en otro lugar.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) - Censos de Población y vivienda 2007

**Anexo 7. POBLACIÓN INMIGRANTE Y EMIGRANTE, LIMA Y CALLAO,
1940, 1961, 1972, 1981, 1993 Y 2007**

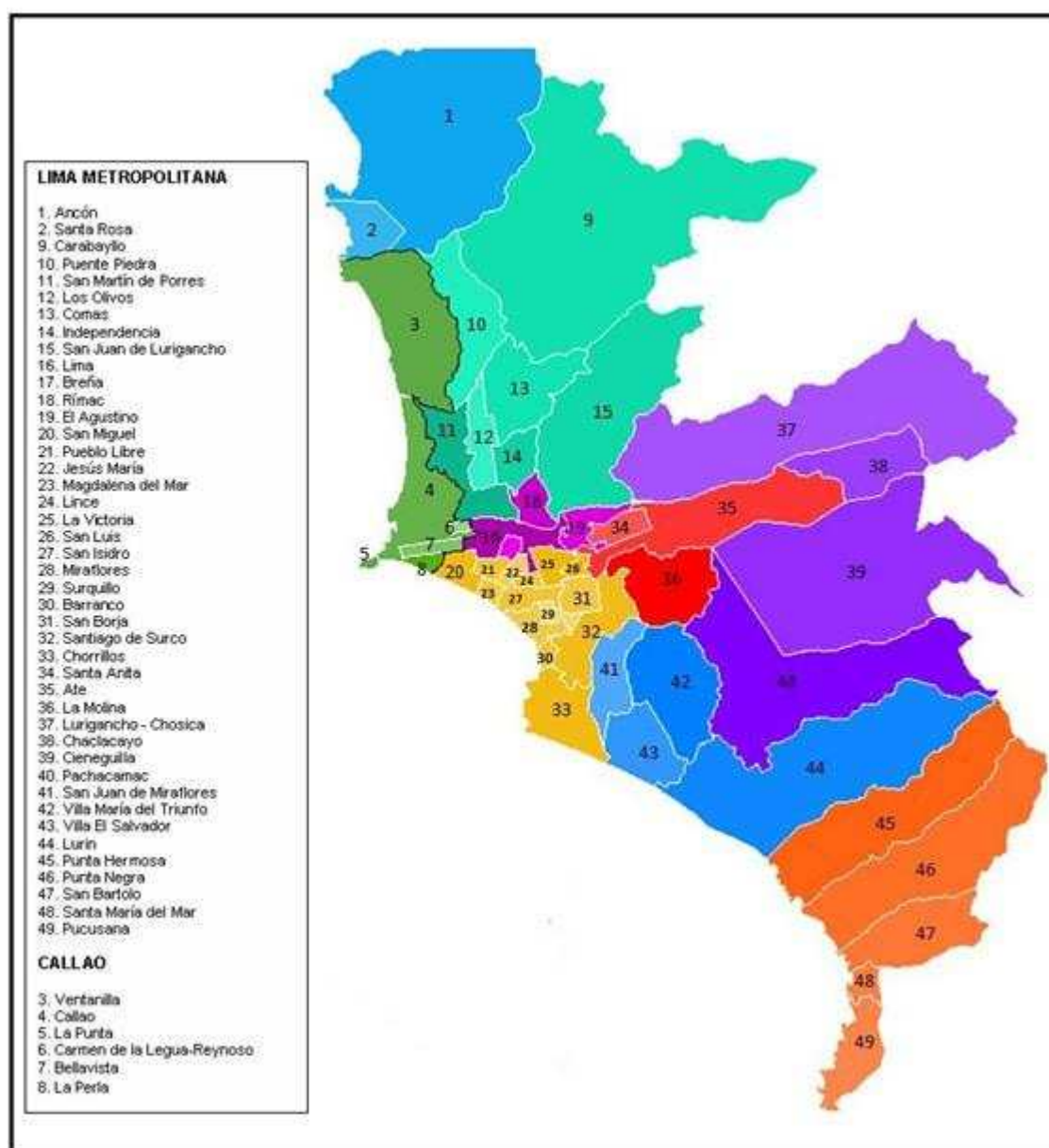
(Migración de toda la vida)												
	1940		1961		1972		1981		1993		2007	
Departamento	Inmi-grantes	Emi-grantes	Inmi-grantes	Emi-grantes	Inmi-grantes	Emi-grantes	Inmi-grantes	Emi-grantes	Inmi-grantes	Emi-grantes	Inmi-grantes	Emi-grantes
Lima y Callao	254458	36598	802399	96586	1398315	155221	1818103	250126	2392014	316959	2898224	291815



Migración de toda la vida: son todos los cambios de residencia de un departamento a otro, ocurridos en el momento de empadronamiento

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) - Censos de Población y vivienda

Anexo 8. Plano de Lima Metropolitana y Callao



Anexo 9. Plano geografico de Lima y Callao

